ELEMENTI DI FISICA

# ELEMENTI DI FISICA

AD USO

# DEI COLLEGI NAZIONALI E DEI LICEI

pel corso filosofico

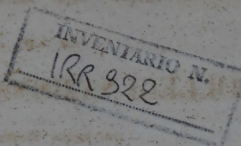
DI

**GIANALESSANDRO MAJOCCHI**

MEMBRO CORRISPONDENTE DELLE REALI ACCADEMIE DELLE SCIENZE DI TORINO E DI PADOVA, DELLA R. PONTANIANA DI NAPOLI E DELLA VALLE TIBERINA TOSCANA, DI QUELLE D'AREZZO E DI PERUGIA, DELL'ISTITUTO DI BOLOGNA, DELLA R. ACCADEMIA DI BELLE ARTI DI FIRENZE, DELLA SOCIETA' INDUSTRIALE D'ANGERS E DELL'ACCADEMIA DI NIMES IN FRANCIA, DEGLI ATENEI DI VENEZIA, DI BRESCIA ECC., DOTTORE DELLA FACOLTA' FISICO-MATEMATICA, GIA' PROFFSSORE DI FISICA E MECANICA ED ISPETTORE PROVINCIALE DELLE S. E. NEL LOMBARDO-VENETO, ATTUALE PROFESSORE SOSTITUITO DI FISICA NELLA R. UNIVERSITA' DI TORINO.

*TOMO SECONDO.*



TORINO
CUGINI POMBA E COMP. EDITORI.
1850.

# PARTE SECONDA

## DELLA FISICA PARTICOLARE.

(Sostanze imponderabili).

---

735. La materia ponderabile è posta talvolta in tale stato che per la sua presenza proviamo delle sensazioni e delle affezioni, ed osserviamo su altri corpi degli effetti e dei cambiamenti, senza che vi sia nè contatto, nè apparisca una congiunzione intermedia. Infatti noi sentiamo a distanza gli effetti di quei combustibili ardenti, e riscontriamo che essi producono somiglianti effetti su altri corpi; ed è facile accorgersi non essere la materia ponderabile della legna o del carbone in combustione, che si porta sotto forma invisibile a toccarci ed a riscaldarci, ed a riscaldare eziandio quei corpi, a fonderli ed a produrre in essi altri analoghi effetti. Rivolgendo lo sguardo verso una candela accesa, si riconosce del pari non essere la cera o il sego, che si porta a produrre, nel nostro occhio, l'impressione della candela medesima e degli oggetti circostanti. Ne nasce quindi l'idea dell'esistenza di fluidi esilissimi o di sostanze, che sfuggono a tutti i mezzi diretti a raccoglierle, a pesarle ed a verificare in esse i caratteri della materia; l'idea cioè d'agenti distinti dalla materia medesima, pei quali si stabilisce un commercio, una comunicazione a distanza fra i diversi corpi sinchè esistono le circostanze, per cui gli agenti stessi si svilupparono.

La causa quindi o il principio che genera in noi la sensazione del calore, e l'altro che ci avverte della presenza degli oggetti circostanti, unitamente ad un terzo che produce su di noi altre sensazioni e sui corpi altri effetti, pare che dipendano da fluidi od agenti particolari, che furono perciò denominati *fluidi o sostanze imponderabili* (§. 11). Essi si riducono ai principii della *luce*, del *calore* e dell'*elettricità*; giacchè il *magnetismo* è prodotto dal medesimo agente dell'elettricità, secondo le sperienze ed i fatti da pochi anni scoperti. Nei tre principii imponderabili annoverati si sono riconosciute molte analogie, per le quali siamo indotti a sospettare, che essi dipendono da un unico agente diversamente modificato e posto in cir-

costanze differenti per dare nascimento alle quattro classi di fenomeni.

L'intima natura, la vera essenza di tali agenti è tuttora ignota, e si conoscono soltanto pei loro effetti sulla materia ponderabile. Alcuni fisici li ritengono come sostanze particolari non dotate di peso sensibile, che realmente esistono e sono differenti dalla materia stessa con cui sono associati; altri in vece li fanno dipendere da un *etere universale* diffuso in tutto lo spazio e naturalmente in quiete, che nei suoi movimenti verrebbe modificato dalla materia per le diverse classi di fenomeni, come sul nostro pianeta vien modificato il moto dell' aria per ingenerare i diversi suoni. Questa seconda ipotesi semplificherebbe i modi differenti con cui gli effetti si rendono palesi, ma in quanto alla causa la questione sarebbe per nulla rischiarata. I quattro fluidi si ridurrebbero all'unico etere universale, ad un solo mezzo; ma le cause, da cui è eccitato in maniere così differenti da produrre fenomeni ed effetti tanto diversi, rimarrebbero ancora immerse nell' oscurità, e la fisica non avrebbe per questa parte avvantaggiato.

Nell' esame dei diversi ordini di fenomeni vedremo quale delle due ipotesi sia la più probabile e più consentanea alle diverse circostanze, che accompagnano i fenomeni medesimi. Queste ipotesi sono di gran sussidio per la coordinazione dei moltiplici fatti in un ben ordinato sistema, che li presenta sotto l' aspetto di scienza, e ne facilita lo studio senza però assegnarne la vera cagione. Ma esse non cambiano la loro natura d' ipotesi, quantunque possano acquistare più o meno probabilità secondo che si accordano più o meno colle diverse circostanze sotto cui avvengono i fenomeni. Al tempo della riforma della nomenclatura, si ritennero come fluidi particolari e ricevettero quindi i nomi di *lumico*, *calorico*, *elettrico*, e *magnetico*, che si ridussero poscia ai tre primi. Queste denominazioni possono essere conservate anche nel caso della seconda ipotesi, ed allora il *lumico* sarebbe la sostanza o la causa che, associata alla materia pesante, imprime i movimenti nell'etere universale per avere i fenomeni della luce; il *calorico* la sostanza per cui nell' etere stesso nascono i fenomeni del calore, e in fine l'*elettrico* la sostanza dalla quale hanno origine nell' etere i fenomeni dell'elettricità e del magnetismo. Queste sostanze sarebbero forze ignote, unite ai corpi per generare quei movimenti nell'etere; nello stesso modo che l'elasticità è potenza ignota per cui le molecole dei corpi vibrano ed imprimono le ondulazioni sonore all'aria. D'altronde in quanto al suono è provato che le

ondulazioni dell'aria sono prodotte da vibrazioni eccitate nella materia ponderabile. Ma per riguardo alla luce, al calore ecc. sembra inverosimile che la materia ponderabile stessa sia atta a concepire delle vibrazioni enormemente celeri (come sarebbero quelle della luce di 564 mila ogni milionesimo di secondo) per promuovere le corrispondenti ondulazioni nell'etere, ed è per ciò che siamo costretti ad ammettere associato ai corpi un principio od una sostanza particolare capace di compiere un numero così prodigioso di vibrazioni in un tempo estremamente piccolo.

Nella fisica particolare di questi principii noi incominceremo dal lumico, siccome quello che facilita lo studio degli altri. Infatti le dottrine del calorico, che trovano tante applicazioni ai comodi ed ai bisogni della vita e della società, vengono meglio dichiarate e ricevono schiarimento da quelle del fluido luminoso. D'altronde per questo fluido siamo avvertiti degli oggetti circostanti e di quelli sparsi nello spazio dell'universo. Perlocchè si è dal medesimo, che debbono aver principio le nostre meditazioni, per esser esso quell' agente dalle leggi del quale dipende l'uso proficuo del senso della vista, che più d' ogni altro contribuisce a farci conoscere l' universo sensibile. Se l' aria, come veicolo della parola, serve a comunicare i nostri pensieri; il fluido luminoso aggiunge un gran pregio a questo commercio, rendendoci presente la loro imagine, per cui diventano più espressivi e più evidenti. L' occhio col soccorso del fluido luminoso ci presenta ad un tratto la forma dei corpi, i colori da cui sono abbelliti, i rapporti delle loro posizioni, i movimenti da cui sono trasportati nello spazio, e distingue nettamente tutte queste modificazioni, di cui col tatto o con altro senso non si potrebbe avere idea. È forse per tali ragioni che il Sommo Facitore delle cose diede esistenza al fluido luminoso nel primo giorno della creazione.

## CAPITOLO QUARTO

### DELLA LUCE.

736. Il *fluido luminoso o lumico* è quell'agente in causa del quale ci riescono visibili gli oggetti, si anima la natura e si ammantano i corpi di quei colori e di quelle mezze tinte, con cui si presentano al nostro sguardo più o meno splendenti e brillanti. Esso va distinto dal chiarore, che suscita in noi e su altri corpi e ne è l' effetto, e che chiamasi *lume*. La parola *luce* poi si adopera a dinotare tanto la causa quanto l' effetto del fluido luminoso, e la scienza della luce appel-

lasi *ottica*. La mancanza di luce fa nascere le *tenebre* o il *bujo*, le quali significazioni non si devono confondere con quelle d' *oscurità* e d' *ombra*, essendovi nella prima bensì poca luce ma non un totale difetto, ed esprimendo la seconda uno spazio privo bensì di luce diretta, che lo limita soltanto all' intorno, ma che ne ha di quella inviata da altri corpi come meglio vedremo. Dante dipinse con verità poetica uno spazio tenebroso chiamandolo: *Luogo d'ogni luce muto*. Esamineremo in seguito come succede nell' occhio il fenomeno della *visione*, e il modo di rinvigorirla.

Ma il principio o la causa della luce, come suscita in noi la sensazione della chiarezza e dello splendore? Come diviene sensibile al nostro occhio? È la luce sparsa uniformemente in tutto l' universo e diventa essa sensibile soltanto in virtù d'un certo movimento? Oppure è dessa un fluido reale scagliato dai corpi luminosi? Un fanale acceso in mezzo ad una vasta pianura, nell' oscurità della notte è veduto da ogni lato, per ogni verso ed a grande distanza. Riempirà esso ad ogni istante con emanazioni luminose quel vastissimo spazio; oppure non farà che imprimere un certo movimento ad un fluido etereo e sottilissimo, che occupa ogni estensione e riempie tutto l' universo dal sole e dalle stelle sino a noi? Avverrà della luce come del suono, che non esiste se non in virtù d' un moto d' ondulazione, che l' aria concepisce in causa del tremito del corpo sonoro? Oppure sarà essa analoga alle emanazioni dei corpi odorosi, le quali, quantunque non mai interrotte, non recano nei corpi stessi perdita sensibile di peso?

Per meglio comprendere il duplice aspetto, sotto cui può essere ravvisata la causa, che genera in noi la sensazione della chiarezza e produce sui corpi circostanti l' illuminamento, osserviamo che a tal effetto deve esistere tra noi e gli oggetti un modo qualunque di comunicazione, dal quale essere avvertiti a distanza della loro esistenza. *La causa di questa comunicazione, di questo mezzo con cui ci accorgiamo dell' esistenza d' oggetti posti fuori di noi medesimi, che si esercita a distanza e si trasmette al nostro occhio, è appunto ciò che chiamasi luce o lumico*. Ora un tal modo di comunicazione può accadere in due maniere differenti: 1° in virtù d'un fluido elasticissimo e sottilissimo particolare, emesso dal corpo luminoso ed inviato o direttamente all' occhio o sugli oggetti circostanti che ne sono illuminati e riescono visibili col ripercuoterlo nell'organo medesimo; 2° o in causa d'un tremito o d'una pulsazione del corpo luminoso, per cui si ecciti un movimento d'ondulazione in un fluido intermedio o

etere universale, che porta all' occhio quelle vibrazioni, v' imprime la sensazione della chiarezza e vi produce la visione. Nel primo caso vi sarebbe realmente un *moto di translazione*, nel secondo si ridurrebbe la comunicazione semplicemente ad *un moto d'ondulazione.* Ciascuna di queste due opinioni, di queste due maniere di ravvisare la causa della luce ebbe i suoi seguaci. La prima ipotesi, applicata alla spiegazione dei fenomeni luminosi, forma il *sistema dell'emissione;* l' altra, diretta allo stesso fine, costituisce il *sistema delle ondulazioni.* In ognuno dei due sistemi la causa del lume è l'agente, che in una maniera pronta ci mette in comunicazione cogli oggetti esterni e ci mostra la loro forma, i loro colori, il loro moto apparente e tutte quelle modificazioni, che ricevono nell' attualità della loro esistenza.

Ciascuno dei due sistemi incontra delle difficoltà nell' interpretazione degli effetti del lumico, che faremo conoscere nel corso di questo capitolo. Ad alcuni fisici sembra che quello delle ondulazioni sia il più naturale e il più facile al concepimento dei fenomeni generali, per la similitudine che ha col suono. Altri in vece, osservando l' analogia che l' emanazione d' un fluido luminoso ha cogli effluvi dei corpi odorosi ed esaminandone le leggi che può avere comuni con questi, non esitano a riguardare la luce come un fluido dotato d'un moto reale di translazione, che attraversa lo spazio con velocità prodigiosa. In tale divergenza d'opinioni vi ha chi ha imaginato un terzo sistema ottico per la spiegazione dei fenomeni luminosi, il quale partecipa dei primi due e si attiene più ai principii chimici che ai meccanici della materia, essendosi per ciò chiamato *sistema chimico d' ottica.* Quest' ultimo sistema non è ancora stato illustrato col calcolo e coll' esperienza in modo da elevarlo alla dignità, cui giunsero i due primi pei lavori e gli studii dei fisici i più distinti (1). Nel corso di questo capitolo vedremo come due sperimenti cardinali e i successivi incrementi fatti dalla dottrina delle onde per opera dei matematici, c' inducono a seguire il sistema delle ondulazioni.

737. Alcuni corpi sono dotati di luce propria, come il sole, le stelle, i corpi in combustione ed in ignizione, e si appellano quindi

(1) Il sistema chimico d'ottica è stato imaginato da Parrot, fisico di Pietroborgo, e si trova esposto nell'opera intitolata: *Grundriss der theoretischen Physik zum Gebrauche für Vorlesungen.* Dorpat 1809; — e con maggior estensione è sviluppato in tre articoli inseriti negli *Annali di Fisica* di Gilbert, t. LI 1815. — L'Accademia di Pietroborgo propose pel 1829 il premio di 200 zecchini per isciogliere alcune difficoltà dei primi due sistemi o per illustrare il terzo, che, da quanto sappiamo, andò senz'effetto.

*luminosi*, perchè capaci d' incitare delle ondulazioni nell' etere universale e di produrre nell' organo della visione il senso della chiarezza e dello splendore. Altri invece vengono rischiarati e non diffondono che il lumico ricevuto dai primi. Questi secondi diconsi per ciò *corpi non luminosi* od *illuminati*, e di tale specie sono i metalli, le pietre, i legni e molte altre materie di questo nostro globo, come pure i pianeti. I corpi luminosi dunque devono essere dotati d' un moto vibratorio o d' un tremito nelle loro particelle, pel quale produrre nell' etere le ondulazioni, mentre quelli illuminati ne sono privi. In generale poi si dicono *corpi lucidi* ambedue le specie annoverate, quando eccitano il lumico tanto che sia loro proprio quanto che venga loro somministrato da altri corpi. I primi possono produrre direttamente nell' organo della visione il senso della chiarezza, mentre non ci accorgiamo della presenza dei secondi se non quando sono illuminati dai primi.

I corpi non dotati di luce propria si distinguono in *opachi*, *diafani* e *translucidi*. Gli *opachi* non sono capaci di trasmettere a traverso di loro le ondulazioni dell' etere, da cui sono colpiti, e quindi dietro di sè non danno segni della chiarezza e dell' illuminamento, che ricevono nella parte anteriore. In generale si dicono *trasparenti* quei corpi che sono atti alla trasmissione delle onde luminose, e se essi le trasmettono regolarmente come le ricevono, allora si dicono *diafani*; che se nella trasmissione le onde eteree sono alterate nei loro movimenti e si confondono, in tal caso i corpi diconsi *translucidi*. I corpi diafani lasciano scorgere attraverso di essi la massa, la forma e il colore e tutte le accidentalità degli oggetti; tali sono i cristalli, i vetri, l' acqua limpida, l' aria, e simili; mentre quelli translucidi lasciano bensì scorgere la luce inviata su di loro dai corpi lucidi, senza darci l' idea della forma esatta e di tutti gli accidenti degli oggetti lucidi; tali sono il talco, la carta, alcuni tessuti, il vetro smerigliato e simili. Parecchi corpi opachi tagliati in lamine sottilissime divengono translucidi. Nel linguagggio comune si dà eguale significato a diafano e trasparente; ma quantunque tutti i corpi diafani sieno trasparenti, non tutti però i corpi trasparenti sono diafani. I corpi opachi bisogna che non siano forniti nel loro interno di etere, o almeno che non sia capace di concepire movimento; mentre quelli trasparenti lo contengono ed è atto a ricevere le ondulazioni luminose.

I corpi luminosi sono essenzialmente composti di materia ponderabile; e parlando delle diverse sorgenti della luce o dei corpi atti ad incitarla vedremo che senza materia non vi ha verun lume possibile.

Lo spazio privo di materia ponderabile o il vuoto può bensì diffondere il fluido luminoso, ma non dargli nascimento. Ne risulta dunque che i corpi luminosi divisi in frammenti, in particelle ponderabili piccolissime, queste rappresenteranno altrettanti punti fisici, che per ciò diconsi *punti luminosi* od *irradianti*. Un corpo luminoso quindi si può considerare come un complesso di atomi irradianti, che eccitano le onde luminose, le quali come rette si diffondono all'intorno di ognuno di essi e formano altrettanti *raggi luminosi*. Talchè per *raggio luminoso* o *raggio ottico* intendesi una serie non interrotta di onde poste l'una in seguito all'altra e formanti una linea retta. La riunione di parecchi di questi raggi costituisce il *fascio luminoso*, il quale secondo la forma prende il nome di *pennello* o *cono* o *piramide ottica* o *luminosa*, oppure di *fascio cilindrico* o *prismatico*.

738. La scienza della luce, come si disse, si chiama in generale ottica, nella quale non solo s'insegnano le leggi della propagazione del fluido luminoso nello spazio libero e quando incontra corpi opachi e trasparenti; ma si fanno conoscere gli strumenti e gli apparati d'ogni maniera, che servono di sussidio e producono differenti fenomeni nella visione. La luce dunque giunge all'occhio o direttamente dal corpo luminoso, oppure inviata dai corpi opachi che la ricevono, infine viene trasmessa attraverso i corpi trasparenti. Questo triplice modo con cui le onde luminose possono giungere all'occhio ha fatto distinguere la scienza della luce presso gli antichi in tre parti, essendosi ritenuto il nome di *ottica* a quella che tratta della *luce diretta*, e chiamata *catottrica* l'altra che studia la *luce riflessa*, mentre si è appellata la terza *diottrica* che si occupa della *luce rifratta* o trasmessa pei corpi trasparenti. Queste denominazioni si usano ancora nel linguaggio scientifico per designare alcuni strumenti e distinguere certi modi ed effetti della luce; ma esse non bastano a racchiudere tutti i fenomeni che si presentano per le tante scoperte e pei tanti progressi fatti dalla scienza. La luce diretta, riflessa e rifratta si riduce a tante linee geometriche, che rappresentano i raggi luminosi, e le dimostrazioni dei fenomeni e delle leggi dell'ottica propriamente detta, della catottrica e della diottrica diventano per tal modo tante proposizioni di geometria. Ma dopo le scoperte di De Dominis e di Newton sui raggi luminosi colorati, dopo quelle fatte da Malus sulla polarizzazione, da Grimaldi sulla diffrazione, e dopo un gran numero di fenomeni che si riferiscono a queste dottrine, si ha un complesso di fatti, le cui circostanze sono più fisiche che geo-

metriche e si distinguono da quelli compresi nell' antica divisione. Egli è per ciò che vi ha un'*ottica geometrica* ed un'*ottica fisica*.

Gli effetti fisici del lumico, l' azione che esercita su tutta la natura organica ed inorganica, ci dimostrano l' importanza di un sì mirabile agente. Al comparire dei primi albòri annunzianti l' arrivo del grand' astro, che è per distendere sulla terra il benefico fluido luminoso, tutte le creature sembrano uscire dall' inazione e dal nulla, in cui si trovavano per la privazione di esso; tutta la natura al dissiparsi delle tenebre si veste di vaghi colori e spiega la sua pompa. Il canto degli augelli, il rivolgersi verso l' oriente dei fiori umidi di rugiada, sono mezzi di cui la natura si serve per esprimere l' esultanza alla comparsa del gran luminare sull' orizzonte. L' uomo pure si accorda con questi omaggi all' astro maggiore: il cuore di lui si apre e si ricrea al ricevere le prime impressioni della luce salutare dopo una notte di tenebre; il suo animo si ravviva quando, dopo un cielo nuvoloso, il sole ritorna sull' orizzonte a splendere con tutta la sua pompa. Riesce quindi un soggetto di molto interesse lo studio degli effetti e delle modificazioni diverse che i corpi possono imprimere o ricevere dal fluido luminoso, e la conoscenza delle leggi che segue questo benefico agente, versato dal Creatore con tanta profusione e magnificenza sopra tutto l'universo. Al quale scopo divideremo questo capitolo in tre sezioni distinte: nella prima si tratterà dell'*ottica geometrica*; nella seconda dell' *ottica fisica*; e finalmente nella terza considereremo *la luce nell' organo della visione*.

## SEZIONE I.

### *Dell' ottica geometrica.*

739. Le osservazioni più famigliari, le sperienze più ovvie ci dimostrano la diffusione del fluido luminoso per cammino rettilineo, e quindi si suol dire che *la luce si propaga in linea retta*. Si lasci entrare la luce solare per un piccolo pertugio dell' imposta della finestra d' una camera chiusa per ogni altra parte, e si vedrà il fascio introdotto progredire nell' oscurità della stanza in linea retta, di cui si potrà avere una prova geometrica osservando che un filo teso, un regolo, che combacci pei due punti estremi, è lambito egualmente in tutti i punti intermedi. Si dispongano inoltre l' uno in seguito all' altro e fra loro paralleli tre dischi di metallo, ciascuno dei quali abbia nel centro un piccolo foro; e si collochi avanti ad uno degli estremi una candela accesa o si rivolgano essi verso il sole:

se si applichi l'occhio al foro dell'altro disco estremo, si trova che la luce della candela o del sole apparisce allo sguardo dell'osservatore quando i tre fori sono posti sulla medesima retta, e scomparisce tosto che uno di essi si discosti dalla retta che congiunge gli altri due. Due dischi di metallo, l'uno concavo e l'altro convesso, si pongano a rincontro; la visione a traverso lo spazio interposto ha luogo sinchè si possa condurre fra essi una linea retta, ma cessa tosto che il tracciamento della retta non ha più luogo, a malgrado che fra loro rimanga ancora molto spazio curvilineo. Per quanto un tubo ricurvo avesse un grande diametro senza poter condurre nel suo vano una retta, non si vedrebbero attraverso ad esso i corpi.

Parecchie altre sperienze ed osservazioni giornaliere ci confermano tale proprietà della luce, ed appunto la visione degli oggetti, che si presentano direttamente allo sguardo, succede per altrettanti raggi lucidi, che partono dai loro punti e giungono a colpire l'occhio; e quando i raggi siano intercettati da qualche corpo opaco, l'oggetto non è più visibile.

Vedremo come la propagazione della luce in linea retta si accorda colla dottrina delle ondulazioni; diremo intanto ch'essa è in noi così impressa dall'esperienza che, quando il nostro occhio è colpito da un raggio luminoso deviato nel suo cammino da qualche causa, andiamo a cercarne il punto lucido d'origine sul prolungamento dell'ultima porzione di raggio giunta all'occhio. Per questa legge l'ingegnere e l'agrimensore tracciano colle visuali le linee rette sul terreno, e il cacciatore dirige collo sguardo lo schioppo per colpire la salvaggina.

740. La più piccola scintilla di luce è visibile in qualunque parte si trovi l'osservatore all'intorno di essa, e la fiamma d'una candela collocata nello spazio sgombro di corpi opachi si vede in ogni punto d'una sfera, di cui essa occupa il centro; ecco perchè si suol dire che *la luce si propaga per isfera:* Nell'immenso spazio dell'universo il sole diffonde per ogni verso il fluido luminoso, che brilla nello stesso tempo sul nostro globo e sugli altri pianeti, sui satelliti, sulle comete e su tutti gli astri del firmamento. Ogni punto lucido dunque è il punto da cui partono moltissimi raggi che si estendono per ogni banda, è l'origine di onde eteree che si propagano per ogni verso; e può considerarsi quindi come il centro d'una sfera di luce che rischiara tutti gli oggetti che si trovano in quello spazio.

I raggi luminosi, che partono dal medesimo punto, sono divergenti, e l'intervallo, da cui sono separati, va aumentando colla

distanza. I due raggi formano con l' intervallo un triangolo isoscele, la cui base è l' intervallo medesimo e la distanza risulta l'altezza del triangolo. Ora chiamando $b$ quest' intervallo e $d$ l'altezza, mentre con $a$ si nota l'angolo, si ha la proporzione $d : \frac{b}{2} :: \text{sen.}(90^\circ - \frac{a}{2}) : \text{sen.} \frac{a}{2}$. Vedremo più avanti che il nostro occhio non si accorge d'un angolo di 20″; perciò facendo $a = 20''$ si ha $d : \frac{b}{2} :: \cos.\ 10'' : \text{sen.}\ 10''$,

da cui si ha $\frac{2d}{b} = \text{tang.}\,89.^\circ\,59'.50''$, ossia $\frac{2d}{b} = 4,\ 3144\ 251$, e

quindi, $\frac{2d}{b} = 20626$ e per conseguenza $b = \frac{d}{10313}$: il che significa che, quando *l'intervallo fra i due raggi è circa la diecimillesima parte della distanza dal punto irradiante, essi riescono sensibilmente paralleli.*

741. Il fluido luminoso si diffonde con una velocità enorme; ed è per ciò che Galilei e in seguito gli Accademici del Cimento, avendo esperimentato nell'intervallo di alcuni chilometri (da Pistoja a Firenze), non si accorsero di tempo percettibile fra l' apparizione della luce ad un' estremità e la sua comparsa all' osservatore posto all' estremità opposta della linea. Si richiedevano spazi molto più vasti di quelli del globo, per iscorgere direttamente con l'osservazione qualche tempo sensibile nella propagazione del fluido luminoso; giacchè un corpo, colla velocità di questo fluido, impiegherebbe soltanto l' ottantesima parte d'un secondo di tempo nel percorrere l' intera periferia del nostro globo, che è di 40000 chilometri. Cassini il seniore pensò di risolvere il problema trasportando l' esperimento negli immensi spazi del firmamento, e Roemer, insistendo sull'idea di Cassini, venne a sciogliere il problema, servendosi, come il primo, dell' occultazione dei satelliti di Giove.

Per dar un' idea del metodo impiegato, rappresentiamo con G il pianeta Giove e con B un suo satellite la cui orbita è ABCD ( fig. 1 ). Sia inoltre S la posizione del Sole e T la Terra, la quale nel percorrere la sua orbita TET'F può trovarsi in T e in T'. Quando il satellite B entra nell' ombra Gg projettata da Giove, viene eclissato e l' osservatore sulla terra situata in T, in congiunzione col Sole e Giove, trova che l' emersione del satellite dall' ombra si vede 16. 26″,4 più presto di quando la Terra è posta in T' in opposizione al Sole. Essendo quindi TT' il diametro dell' orbita terrestre, ne risulta che

la luce impiega appunto 16′, 26″,4 a percorrere quello spazio, ossia 8′. 13″,2 a percorrerne la metà ST, ossia a giungere dal sole sino alla Terra.

È appunto con osservazioni di questo genere istituite colla maggiore esattezza e ripetute da diversi astronomi che si sono stabiliti i dati per valutare la velocità del lumico. Infatti il raggio medio dell' orbita terrestre è di 24047,1 raggi equatoriali della terra, ciascuno dei quali si valuta di 6376600 metri, per cui risulta che in 8′. 13″,2 la luce percorrerà lo spazio di met. 24047,1$\times$6376600, e in un solo secondo di tempo met. $\frac{24047,\times16376600}{493,2}=$ met. 310905794, cioè *la luce ha la velocità di* 310906 *chilometri per secondo.* Il suono avendo soltanto la velocità di 340 metri (§. 699), ne risulta che la luce ha una velocità di più di 900 mila volte quella del suono, e di 500 mila volte quella d'una palla da cannone, per cui questa, progredendo colla stessa velocità impressale dalla scarica, impiegherebbe a venire dal sole alla terra circa 8 anni.

A malgrado di una velocità così enorme, Fizeau nel trascorso anno, servendosi dello stesso principio dello specchio ruotante con cui Wheatstone aveva misurata la velocità dell' elettrico, è giunto alla valutazione della velocità del fluido luminoso con esperimenti istituiti negli angusti spazi del nostro globo (1). Cerchiamo di far comprendere il modo d' istituire l' esperimento.

Abbiasi un disco diviso alla sua circonferenza, come le ruote dentate, in intervalli eguali alternativamente vuoti e pieni, e di diametro abbastanza grande da potere intagliarvi 1000, p. e., di tali intervalli. Il disco sia applicato su d' un asse intorno al quale possa ruotare con velocità più o meno grande. La durata del passaggio di ciascun intervallo per un medesimo punto dello spazio dipenderà dalla velocità di rotazione. Se questa velocità è assai grande il tempo è brevissimo; e se è di 10, di 100 giri ogni secondo, il detto tempo risulta di $\frac{1}{10000}$, di $\frac{1}{100000}$, di secondo. Durante questi tempi così brevi la luce, secondo la velocità ottenuta, percorrerà 31 chilometri per la prima frazione e 3 per la seconda.

Ora imaginiamo un raggio luminoso che passi per uno di questi intervalli vuoti, mentre il disco è in movimento, e che, dopo aver progredito per una certa distanza, sia riflesso e rinviato nella stessa

(1) Si vegga gli *Annali di Fisica e Chimica ecc*, serie seconda, t. 1, p. 26.

direzione verso il disco, talchè se fosse in quiete l'incontrerebbe nello stesso punto dello spazio. Se il disco invece è in moto, questo potrebbe essere tale che la luce, a malgrado della sua grande velocità, incontrasse nella sua retrocessione lo spazio pieno dal disco o quello susseguente vuoto, e quindi venisse intercettata o lasciata passare secondo la velocità del disco e la distanza cui ha luogo la riflessione.

Si abbiano due cannocchiali, istrumenti ottici che in seguito impareremo meglio a conoscere: si collochi al fuoco dell'oggettivo di uno di essi uno specchio, e tra il fuoco e l'oculare dell'altro un vetro trasparente inclinato di 45° coll'asse, sul quale, per un'apertura laterale, può essere inviata la luce del sole o d'una lucerna, che lo specchio riflette verso l'oggettivo. Questo secondo cannocchiale si disponga in maniera che la luce concentrata dal suo oggettivo sia diretta verso la periferia del disco ruotante, dove passando per uno degli intervalli giunge all'oggettivo del secondo cannocchiale situato a distanza dalla parte opposta del disco, ed è riflessa dallo specchio per retrocedere sulla stessa via e ritornare al primo cannocchiale, ove può essere osservata attraverso al vetro per mezzo dell'oculare.

Questa disposizione rende la luce visibile ben anche allontanando i cannocchiali a distanze considerabili: con cannocchiali di 6 centimetri d'apertura, la distanza può esser portata ad 8 chilometri senza che la luce riesca troppo debole. Si vede allora un punto luminoso simile ad una stella e formato dalla luce partita da un tal punto e ritornata sul medesimo dopo aver percorso lo spazio di 16 chilometri, dove attraversando il vetro giunge all'osservatore per mezzo dell'oculare. Si è su questo punto stesso che bisogna far passare i denti del disco ruotante per produrre l'effetto indicato. L'esperienza riesce assai bene, e si trova che, secondo la velocità più o meno grande della rotazione, il punto luminoso brilla con isplendore o si eclissa totalmente. Nelle circostanze in cui è stato istituito l'esperimento, il primo eclisse avviene quando il disco fa circa 126 giri per secondo. Con una doppia velocità il punto brilla di nuovo; con una velocità tripla si produce un secondo eclisse, con una velocità quadrupla il punto riescé di nuovo brillante, e così di seguito. I due cannocchiali si trovavano alla distanza di metri 8632. Il disco munito di 720 denti era disposto sopra un congegno di ruote mosso da pesi. Un contatore serviva a misurare la velocità di rotazione. La luce veniva emanata da una lucerna disposta secondo il metodo di Gaudin. Questi primi saggi hanno fornito un valore della velocità della

luce poco differente da quello dedotto dalle osservazioni astronomiche, avendo trovato per risultato medio di tutte le sperienze 315293 chilometri.

L' osservazione dimostra che tutti gli altri astri diffondono il lumico colla medesima velocità di quella del sole, e secondo l' esperienza di Fizeau accade egualmente della luce artificiale sviluppata sulla nostra terra. Egli è chiaro che per distanze non molto grandi la propagazione del lumico riuscirà sensibilmente istantanea, e tale appunto è apparsa agli accademici del Cimento e tale si è ritenuta in tutti gli sperimenti istituiti sulla velocità del suono (§ 698). Ma pei pianeti e gli altri astri, che sono a grandi distanze dalla terra, la luce riflessa o diretta che inviano a noi impiegherà un tempo più o meno grande secondo la loro posizione; ed Urano che, dopo Nettuno recentemente scoperto, è il più lontano nell' ordine dei pianeti ed ha per media distanza dalla terra 1624 milioni di miglia geografiche italiane o 3004 milioni di chilometri, impiegherà quasi 3 ore ad inviare a noi la luce, che riceve dal sole. L'astronomo, che osserva quel pianeta, non lo vede ove realmente si trova, ma dove era 3 ore prima, e se esso scomparisse dal firmamento si vedrebbe ancora 3 ore dopo che avrebbe cessato d'esistere. Si è veduto che dal sole a noi la luce impiega 8′ 13″ 2. Le stelle fisse si trovano a distanze sì enormi che si richiede qualche anno per venire la loro luce sulla terra; sicchè le vediamo in luoghi dove più non sono da molto tempo. Tutto ciò che esiste nel cielo al di là del nostro sistema potrebbe essere rotto, confuso, annichilato, senza accorgersene, e si vedrebbe ancora per qualche tempo quel grande spettacolo d' ordine e di magnificenza, che in tal caso non sarebbe più che un' illusione, un' imagine senza realtà.

La velocità enormemente grande della luce si spiega facilmente nel sistema delle ondulazioni; mentre è inconcepibile in quello dell' emissione, tanto più se si considera che la propagazione si fa con moto uniforme, per cui bisognerebbe ammettere in corpi differentemente luminosi la medesima forza impellente, quando per lo stesso etere le onde devono propagarsi colla medesima velocità. In oltre non si concepisce come quelle emanazioni, per quanto esilissime, possano con velocità così grande passare pei corpi trasparenti, e colpire un organo così delicato qual' è l'occhio.

742. Nel sistema delle ondulazioni l'intensità della luce dipende dalla quantità di forza viva degli atomi eterei, ed è tanto più grande quanto è maggiore la forza che colpisce l' organo della vista. Ora le

amplitudini delle ondulazioni nel propagarsi per isfera decrescono in ragione delle distanze dal centro di scuotimento, e la forza viva è proporzionale al quadrato di quelle amplitudini; perciò la forza viva o l'intensità decrescerà come il quadrato della distanza.

Ma indipendentemente da qualunque sistema si osservi che i raggi luminosi, che partono dal medesimo punto e si diffondono per isfera, formano delle piramidi, il cui vertice è situato nel punto medesimo e la base si appoggia all' occhio che rischiara o alla superficie che illumina. Ora l' intensità bisogna che sia tanto più grande quando più è grande il numero dei raggi, cioè quanto più sono addensati o radunati in spazio ristretto. Ma dalla geometria si sa che le sezioni fatte parallelamente alla base d' una piramide sono simili fra loro e stanno come i quadrati delle distanze, cui si trovano dal vertice; così l' intensità, che è in ragion inversa di quelle sezioni, sarà anche in ragion inversa dei quadrati delle distanze dal punto irradiante. Dunque in generale *l' intensità della luce è in ragion inversa del quadrato della distanza dal punto luminoso.*

Presentando infatti una superficie perpendicolarmente alla retta guidata al punto che diffonde i raggi luminosi per un' apertura, si vede che questi si allargano in uno spazio sempre più grande, a misura che la superficie stessa si allontana dalla sorgente luminosa, e che quindi l' intensità decresce in ragione dello spazio occupato, ossia essa è in ragion inversa di questo spazio, quindi del quadrato della distanza del medesimo dal punto irradiante. Se quindi una persona legge appena i caratteri d' un libro alla luce d' una candela, per leggerli ad una doppia distanza le abbisogneranno quattro candele d'eguale facoltà illuminante. Parlando della visione vedremo sin dove può estendersi lo sguardo umano; intanto giova notare che, quando i raggi per la grande distanza possano essere considerati paralleli (§ 740), la diminuzione della intensità della luce, quantunque a rigore segua l' annunziata legge, non riesce però più valutabile dal nostro occhio. È appunto per ciò che le stelle fisse appariscono egualmente luminose, osservate dalla terra tanto all' estremità del grand' asse della orbita quanto all' estremità opposta.

All'appoggio della su citata legge è facile determinare il rapporto dell' illuminamento di due punti situati sulla stessa retta, che congiunge due fiaccole dell' egual forza ed egualmente distanti da uno di quei punti Q. In fatti, chiamando $m,n$ le distanze dei due lumi dall' altro punto che diremo P, sarà $\frac{m+n}{2} = a$ la distanza di Q da

ciascun lume. Notando con 1 il chiarore prodotto da un sol lume separatamente sul punto di mezzo Q, si avrà per la detta legge il chiarore prodotto su P dal primo lume espresso da $\frac{a^2}{m^2}$, e dal secondo rappresentato da $\frac{a^2}{n^2}$. Dunque l'illuminamento dei due punti P,Q avrà il rapporto di $2 : \frac{a^2}{m^2} + \frac{a^2}{n^2}$; ossia di $2m^2n^2 : a^2(m^2+n^2)$. Dove si vede che il punto di mezzo Q è meno illuminato dell' altro punto P. Colla matematica poi si dimostra che il minimo illuminamento cade nel punto di mezzo, e si accresce a misura che $m,n$ maggiormente fra loro differiscono.

743. L' intensità della luce dipende anche dalla posizione della superficie per rapporto ai raggi, dai quali viene rischiarata. Sia S un punto lucido (fig. 2) che rischiara la linea d'una superficie passata successivamente dalla posizione AB alla posizione AC, la quale fa nei due casi collo stesso raggio SC gli angoli SBA$=x$, SCA$=y$. Tutti i raggi che illuminano la superficie AB cadono anche sulla AC, e perciò le intensità D,$d$ della luce saranno in ragione inversa delle superficie rischiarate o delle loro basi AB, AC, ossia si avrà D: $d$ ::AC: AB. Ma si sa per la trigonometria che AC : AB : : sen. ABC : sen. $y$; ossia AC : AB : : sen. $x$ : sen. $y$; dunque sarà D : $d$ : : sen. $x$ : sen. $y$; vale a dire che *l' intensità della luce è in ragion diretta del seno dell' angolo che fa il raggio colla superficie rischiarata.* Il massimo illuminamento perciò si ha quando i raggi luminosi cadono perpendicolarmente sulla superficie, perchè allora il seno è massimo.

È questa una delle ragioni principali per cui i raggi solari producono sul nostro globo maggior illuminamento nelle ore meridiane che in quelle mattutine e vespertine, essendo nel primo caso meno obliqui che negli altri due. Parimenti la luce riesce più viva d' estate che d' inverno, a malgrado che il sole sia più distante nella prima che nella seconda stagione.

Quanto si è esposto intorno all'intensità della luce si riferisce alla quantità che i corpi rischiarati ricevono e non a quella che possono riflettere; giacchè vedremo che in questo secondo caso l'intensità dipende dalla natura e dallo stato della superficie illuminata. La luce può essere indebolita eziandio dal mezzo per dove è costretta a moversi, come vedremo. Essa può diffondersi ben anche attraverso ad uno spazio già rischiarato. Infatti la fiamma d' una candela si vede attraverso a quella d' un' altra candela; e quando le due fiamme sono

poste al contatto, l'impressione diventa più viva e la facoltà illuminante più intensa. Questa sperienza riesce più sensibile nell'illuminazione a gas: osservando un getto a ventaglio di fronte la luce riesce tollerabile, mentre di profilo è abbagliante. Le materie opache, allo stato d'ignizione o riscaldate al color rosso, devono necessariamente nei loro punti interni essere dotate di pulsazioni luminose come alla superficie; ma quelle pulsazioni non possono per l'opacità essere comunicate all'etere e venire ad aumentare l'intensità dell'illuminamento; ed è per ciò che non si ha lo stesso effetto dalle sostanze della fiamma, che sono gaziformi.

744. Chiamasi *ombra* lo spazio dove direttamente non giungono i raggi d'un corpo luminoso in causa d'un oggetto opaco interposto, per cui risulta oscura la parte opposta a quella illuminata. Se i raggi $p,q$ d'un punto irradiante S cadono sopra un corpo opaco A, essi ne lambiscono l'orlo estremo, e la parte, su cui non giunge direttamente verun raggio di luce, rimane oscura (fig. 3), giacchè procedendo in linea retta non possono illuminare lo spazio B.

Allorquando il corpo opaco è rischiarato da un sol punto irradiante è facile di determinare il contorno dell'ombra che ne risulta. Infatti concepiamo la retta Sp, che passi pel punto illuminante e faccia un intera rivoluzione attorno al corpo rimanendo a contatto col lembo estremo, questa linea descriverà la superficie d'un conoide, il quale, prolungato al di là del corpo opaco, determinerà il contorno e la forma dell'ombra. Giova l'avvertire però che quest' *ombra geometrica* non corrisponde esattamente all' *ombra fisica*, perchè i raggi luminosi, passando vicino all' orlo de' corpi, subiscono una lieve modificazione nel loro cammino rettilineo, che chiamasi *diffrazione* o *inflessione*, che in seguito studieremo. Ora faremo astrazione da sì lievi alterazioni e riterremo che i raggi luminosi non provino in tali circostanze veruna inflessione.

Si abbiano più punti irrradianti o un complesso dei medesimi costituenti una superficie luminosa, in tal caso si hanno degli spazi che sono nell'ombra per rapporto ad alcuni di quei punti, mentre ricevono luce dagli altri. Infatti siano P,Q,S tre punti irradianti ed *ab* il diametro d'un corpo opaco A (fig. 4): l'ombra, che questo produce relativamente al punto P, è determinata dai raggi estremi Pp, Pp' che radono il corpo, e nessun altro raggio di P cade nell' interno dello spazio *pabp'*. Ma lo spazio *q'bp'*, quantunque non vi pervengano dei raggi luminosi da P, è però rischiarato per la porzione *r'bp'* da quelli del punto di mezzo S e per intero dagli altri del punto

Q. Parimenti dal lato opposto vi ha lo spazio *par* che è rischiarato dal solo punto luminoso P, e lo spazio *raq* che lo è dai due punti luminosi P, S; mentre quello esterno alla linea *qa* è illuminato da tutti tre quei punti irradianti e l' altro interno *pabq'*, non riceve alcuna luce dai medesimi. Si osserva perciò in *pabq'* la maggiore oscurità; mentre gli spazii *par*, *q'br'*, contigui da ambidue i lati, riescono meno oscuri essendo rischiarati da un solo di quei punti; e gli altri seguenti *raq*, *r'bp'* ancor meno oscuri per essere rischiarati da due dei medesimi. Al di là poi di questi ultimi spazii la luce è nel suo pien vigore. Lo spazio *pabq'* chiamasi *nucleo dell' ombra* od *ombra vera* o *perfetta*, e il complesso degli altri spazii, che ricevono luce da uno o da due di quei punti, costituisce la *penombra* o *mezzombra*.

Se gl' intervalli, che separano i punti P,S,Q, sieno riempiuti d'altri punti illuminanti, il passaggio dall'ombra vera alla piena luce succede con degradazione insensibile, con una sfumatura di tinte per formare la penombra. Siccome l'oggetto illuminante è sempre o quasi sempre un complesso unito di punti; così la penombra consiste d'ordinario in quella sfumatura dall' ombra vera alla piena luce ed eguaglia in grandezza lo spazio compreso fra le medesime. I disegnatori chiamano *chiaro-scuro* l' ombra e la penombra assieme, che vengono rappresentate sulla superficie nel modo indicato.

L' ombra in generale comparisce tanto più densa o oscura quanto più è grande l' intensità d' azione del corpo illuminante, perchè in tal caso diventa maggiore il contrasto dell' ombra colla luce da cui è circoscritta. La penombra poi riesce tanto più oscura quanto più si avvicina all' ombra in causa del minor numero di raggi che riceve. L'oscurità dell'ombra quindi non è assoluta, ma relativa alla luce da cui è contornata; e un' ombra può comparire più oscura relativamente ad un' altra benchè in realtà sia rischiarata da maggior luce di quest' ultima. Quanto più il sole splende con viva luce sull' orizzonte tanto più oscura o densa apparisce l' ombra prodotta da un corpo opaco; il grado d' oscurità assoluta però è minore nel primo che nel secondo caso. Alle ombre sul declinare del giorno, non si può leggere un libro; mentre se ne rileva ogni più piccola lettera all' ombra del pieno meriggio che ha una maggiore oscurità apparente. Parlando della densità dell' ombra s' intende sempre dell' apparente, quando altrimenti non si dichiari. Ora intenderemo meglio la differenza fra *tenebre*, *ombra* ed *oscurità*. Nell' ombra la visione degli oggetti riesce distinta in virtù della luce, che ha all'intorno e che viene in essa inviata per riflessione. L' oscurità è propria d' un luogo

dove non si vedono distintamente gli oggetti, ed è quasi sempre un' idea relativa, applicandosi anche come distintivo dell' ombra col chiamarla più o meno oscura secondo il grado di densità apparente.

745. L' ombra in generale comprende lo spazio situato dal lato opposto a quello illuminato del corpo opaco; come sarebbe l' ombra C prodotta dal corpo opaco B illuminato dalla fiaccola A ( fig. 5 ). Di quest' ombra totale situata nell' aria si considera quasi sempre quella parte che cade ed è projettata sopra un piano o una superficie qualunque, e che chiamasi *ombra portata*. Essa è pure composta, come è chiaro, dell' ombra vera e della penombra, le quali in questo caso costituiscono ciò che i disegnatori appellano *sbattimento*.

L' ombra portata *ab* o è prodotta da un corpo opaco verticale *ad* sopra una superficie orizzontale AB ( fig. 6 ), oppure è gettata da un oggetto orizzontale *ad* sopra un piano verticale MN ( fig. 7 ). Nel primo caso si ha l'*ombra retta*, nel secondo l'*ombra versa*. Se in vece d' un sol punto luminoso S ve ne hanno parecchi, le ombre rette e verse sono accompagnate dalla relativa penombra. In generale si suole appellare *ombrata* quella parte della superficie, quando per l' interrompimento di raggi luminosi diretti riesce meno illuminata dell' altra, su cui cadono i raggi medesimi.

Essendo l' ombra determinata dai raggi, che lambiscono il lembo estremo del corpo, pel quale essa ha nascimento ed è projettata, ne risulta che la sua figura, posizione ed estensione dipendono dalla forma, dalla situazione e dalla grandezza dei corpi illuminante ed illuminato, come pure dalla reciproca distanza di questi corpi e dalla diversa curvatura ed inclinazione della superficie su cui è portata. Spetta quindi alla geometria sussidiata dal calcolo di determinare la figura e la posizione dell' ombra in tutti quei casi. Importa però di conoscere i rapporti d' estensione dell' ombra relativamente ad alcune circostanze in cui si produce, affine di giudicare i fenomemi fisici, che si presentano quando il sole splende sull' orizzonte.

Sia $AC=a$ l' altezza del corpo opaco ( fig. 8 ), che produce l' ombra retta $AB=x$ sul piano orizzontale AD determinata dal raggio SB del lembo superiore S del corpo luminoso, e si chiami $m$ l'angolo ABC che fa il raggio stesso, il quale misura l' altezza apparente del punto lucido S sull' orizzonte AD. Dal triangolo rettangolo BAC si ottiene $x=\frac{a}{tang.\ m}$; da cui si apprende che *la lunghezza dell' ombra retta è in ragion composta diretta dell' altezza del corpo opaco ed inversa della tangente dell'angolo d'elevazione del punto luminoso.* Se è l'an-

golo $m = 45^o$, risulta tang. $m = 1$, e quindi $x = a$, vale a dire che *quando il raggio luminoso fa un angolo semiretto coll'orizzonte, la lunghezza dell' ombra retta eguaglia l' altezza del corpo opaco da cui è prodotta.*

Per avere gli analoghi rapporti dell'estensione dell' ombra versa AB $= y$ prodotta dal corpo opaco AC di lunghezza $b$ (fig. 9), si chiami con $n$ l' angolo che il raggio SB del lembo inferiore del corpo lucido fa coll'orizzonte, il qual angolo riesce eguale ad ACB. Dal triangolo rettangolo BAC si ha $y = b.\ tang.\ n$, da cui si deduce che *la lunghezza dell'ombra versa è in ragion composta diretta della grandezza del corpo opaco e della tangente dell' angolo d' elevazione del punto luminoso.* Quando è l'angolo $n = 45^o$, allora si ha tang. $n = 1$, e perciò $y = b$, cioè *la lunghezza dell' ombra versa eguaglia la grandezza del corpo opaco.*

Confrontiamo ora l'ombra retta e l'ombra versa, sapendo che la lunghezza della prima è $x = \frac{a}{\text{tang. } m}$, e quella della seconda $y = b$ tang. $n$: se $a = b$, ossia se la grandezza del corpo, che produce le due specie di ombre, è uguale, e se il punto lucido è egualmente elevato sull'orizzonte ossia è $m = n$, si ha $\frac{a}{x} = \frac{y}{a}$, e quindi $a^2 = xy$, vale a dire che *la grandezza del corpo opaco è media proporzionale fra le lunghezze dell' ombra retta e versa.* Essendo $a = x$ tang. $m = x \frac{\text{sen. } m}{\text{cos. } m}$; ed inoltre $b = \frac{y}{tang.\ n} = y \frac{\text{cos. } n}{sen.\ n}$; per lo stesso angolo $m = n$ e nel caso di $a = b$ si avrà $x \frac{\text{sen. } m}{\text{cos. } m} = y \frac{\text{cos. } m}{\text{sen } m}$. Da questa equazione si deduce $x : y :: sen^2\ m : cos^2\ m$, cioè *l'ombra retta e versa stanno come i quadrati del seno e del coseno dell'angolo d'elevazione del punto lucido.*

Gli edifizii illuminati dal sole gettano sul terreno orizzontale l'ombra retta, la quale diminuisce coll'aumentare *tang. m* ossia col crescere la tangente dell'angolo d'elevazione del sole; mentre i loro aggetti mandano sui muri illuminati da quest'astro l'ombra versa, la quale aumenta in lunghezza a misura che il sole si eleva sull' orizzonte o si accresce *tang. n.* Dunque *all'elevarsi il sole sempre più sull'orizzonte sino al mezzogiorno le ombre rette diminuiscono in lunghezza e le verse divengono più grandi; mentre dal mezzodì al tramonto le ombre rette ritornano ad allungarsi e le verse a raccorciarsi.* I disegnatori quindi, quando devono rappresentare le ombre di oggetti

illuminati dal sole, hanno convenuto di prendere l'angolo d'elevazione di 45°, per cui risulta la lunghezza delle ombre retta e versa eguale alla grandezza del corpo da cui esse sono prodotte.

746. Volendo determinare la lunghezza della *penombra retta* BD (fig. 8) prodotta dall'oggetto opaco $AC=a$ e dal corpo luminoso SR, si chiami, come precedentemente, $m$ l'angolo ABC del raggio superiore S che determina il confine dell'ombra vera AB, e con $m'$ l'angolo ADC del raggio inferiore R che stabilisce il termine della penombra $BD=x'$. Dalla geometria si ha l'angolo $BCD=m-m'$, che rappresenteremo con $d$ e che, essendo eguale all'opposto al vertice, è l'angolo sotto cui si vedrebbe il corpo luminoso e ne rappresenta la grandezza apparente; e dalla trigonometria la retta $AD=\frac{a}{tang\ m'}$ mentre l'ombra vera $AB=x=\frac{a}{tang.\ m}$. Onde la penombra $BD=AD-AB$, ossia $p=\frac{a}{tang.\ m'}-\frac{a}{tang.\ m}$, ossia

$$p=a\left(\frac{cos.\ m'}{sen.\ m'}-\frac{cos.\ m}{sen.\ m}\right),$$

oppure $p=a\left(\frac{sen.\ m.\ cos.\ m'-cos.\ m.\ sen.\ m'}{sen.\ m.\ sen.\ m'}\right)$,

il cui numeratore per la trigonometria si cambia nell'altra espressione equivalente $p=\frac{a.\ sen\ (m-m')}{sen\ m.\ sen\ m'}$, ossia $p=\frac{a.\ sen\ d}{sen\ m.\ sen\ m'}$. Da questo si deduce che *la lunghezza della penombra retta è in ragione diretta dell'altezza del corpo opaco e della grandezza apparente di quello luminoso, e nell'inversa dell'elevazione di quest'ultimo sull'orizzonte*. Siccome il diametro apparente aumenta coll'avvicinare il corpo luminoso a quello opaco; così *la penombra si accresce diminuendo la distanza fra i due corpi.*

Con un calcolo simile si possono determinare le analoghe relazioni della *penombra versa*. Sia infatti RS il corpo luminoso ed $AC=a$ l'opaco (fig. 9); si noti altresì con $n$ l'angolo ACB che il raggio del punto inferiore S fa coll'orizzonte, e con $n'$ l'angolo ACD del raggio del punto superiore R. Si avrà $BCD=n'-n$, che è l'angolo che misura il diametro apparente del corpo luminoso. La penombra versa BD, che chiameremo $q$, eguaglia $AD-AB$, di cui si conoscono i valori: perciò sarà $q=a$ tang. $n'$, $-a$ tang. $n$, ossia $q=a\,$(tang. $n$ — tang. $n$). Sostituendo in quest'espressione alle

tangenti i valori rispettivi in funzione del seno e del coseno ed operando come precedentemente si trova

$$q = \frac{a.\ sen.\ (n' - n)}{cos.\ n.\ cos.\ n'} = \frac{a.\ sen.\ d}{cos.\ n.\ cos.\ n'}.$$

Da questo valore si ha che *la lunghezza della penombra versa è in ragione diretta della grandezza del corpo opaco e della grandezza apparente di quello luminoso, e dell'elevazione di quest'ultimo sull'orizzonte*; giacchè nell'ultimo rapporto crescendo l'angolo diminuisce il coseno ed aumenta per conseguenza il valore della grandezza della penombra versa.

747. Determiniamo ora le relazioni più importanti dei fenomeni dell'ombra che si ha da due corpi isolati nello spazio, l'uno illuminante e l'altro opaco; e consideriamo il caso più comune di due globi. Spetta nel resto, come si disse, alla geometria analitica di stabilire la figura dell'ombra secondo l'indefinito numero di forme, che possono avere i due corpi principalmente quello opaco. In generale la figura dell'ombra, essendo determinata dai raggi luminosi che radono il lembo del corpo opaco, riesce analoga alla figura di questo; talchè, essendo il sole il corpo illuminante, la sfera A getta l'ombra rotondata B (fig. 10); la piramide *a* produce l'ombra *b* che termina in punta (fig. 11; il prisma A, essendo illuminato dal sole, produce, pei raggi paralleli estremi *p*, *q* l'ombra parallelogrammica B (fig. 12), che diversifica in parte dall'ombra dello stesso prisma quando il corpo luminoso è un sol punto irradiante (fig. 3), i cui raggi *p*, *p* sono divergenti; la croce *a* genera l'ombra cruciforme *bc* (fig. 13), e così si dica delle ombre che nascono nei differenti casi, e che spetta alla geometria sussidiata dal calcolo di definire in ogni loro parte.

Siano ABD ed *abd* i circoli massimi di due globi (fig. 14), l'uno dei quali opaco e l'altro dotato di luce propria; e siano A*a*, B*b* le comuni tangenti e G*g* la retta, che ne congiunge i centri. Essendo il cammino della luce rettilineo e le tangenti A*a*, B*b* cadendo interamente fuori dei circoli, è chiaro che niun altro raggio, oltre quelli dei punti luminosi componenti la superficie ADB, potrà illuminare il globo opaco e viceversa. Ne risulta dunque che la parte illuminante ADB e quella illuminata *adb* sono determinate dalle tangenti A*a*, B*b*.

Si conduca dal centro *g* del globo minore la retta *gh* parallela alla tangente A*a*, e si chiami *d* la distanza G*g* fra i centri dei due globi, la quale per la geometria divide per metà gli archi ADB, *adb*; sia inoltre il raggio $GA = R$ e $ga = r$ e l'angolo $agd = x$; per cui sarà $Gh = R - r$

e l'angolo $AGD = 180^\circ - x$. Ciò posto, dal triangolo rettangolo $Ghg$ si ha: $Gg : Gh :: 1 : cos. (180^\circ - x)$, ossia

$$d : R - r :: 1 : cos. (180^\circ - x)$$

da cui si deduce $cos. (180^\circ - ) = x \frac{R - r}{d}$, ossia $- cos. x = \frac{R - r}{d}$, e quindi $cos. x = \frac{r - R}{d}$. Da quest' equazione si ricava che, essendo i due globi di differente diametro ed $r < R$, il coseno di $x = agd$ risulta negativo; vale a dire che l'arco $ad$ è maggiore di 90' gradi e il doppio $adb$ maggiore di 180°, mentre l'angolo $180^\circ - x = AGD$ riesce minore di 90' e il doppio ADB dell'arco corrispondente minore di 180°. Dunque *se il globo illuminante è il maggiore, ne risulta che per rischiarare più della metà del globo opaco basta meno della metà di quello lucido.* E all'inverso *quando il globo illuminante è il minore, più della sua metà rischiara meno della metà di quello opaco.* Siccome poi $180^\circ - x$ è il supplemento di $x$, cioè l'arco AD è supplemento di $ad$ e per conseguenza ad ADB mancano tanti gradi alla semiperiferia di quanti ne cresce l'arco $adb$; così in generale *la parte oscura del globo illuminato risulta di tanti gradi quanti ne comprende la porzione illuminante dell'altro globo.* Che se è $R = r$, ossia i due globi siano eguali, allora diventa $cos. x = \frac{o}{d} = o$, e per conseguenza l'angolo $x = agd = 90^\circ$ ed $AGD = 180^\circ - x = 90^\circ$, *cioè quando i due globi sono eguali metà del globo lucido serve a rischiarare la metà di quello opaco.*

Dalla stessa equazione $cos. = \frac{r - R}{d}$ si deduce che il coseno $x$ scema al crescere la distanza $d = Gg$ fra i due globi, ed aumenta al diminuire la distanza medesima; per cui essendo l'angolo $x = agd > 90^\circ$ per essere $R > r$, e $cos. x$ negativo aumenterà o diminuirà l'angolo stesso $agd$ coll'aumentare o diminuire il suo coseno, e quindi collo scemare o col crescere la distanza $Gg = d$. Succederà all'inverso dell'angolo $180^\circ - x = AGD$, per essere supplemento di $x$. Siccome poi gli angoli $x = agd$ e $180^\circ - x = AGD$ sono misurati rispettivamente dagli archi $ad$, AD e quindi proporzionali ai loro doppi $adb$, ADB; così ne risulta che *col crescere le distanze fra i due globi diminuisce la parte illuminata di quello opaco* (il minore); *mentre aumenta la porzione illuminante dell'altro* (il maggiore); *ed all'inverso al diminuire la distanza.* Che se il più piccolo è l'illuminante e il più grande l'illuminato si ha all'inverso, cioè, *a mi-*

*sura che i due globi si allontanano l'uno dall'altro, la parte illuminata dell' opaco aumenta, mentre scema la porzione illuminante del secondo globo.* Nel caso della nostra terra e del sole, il corpo illuminante è il maggiore, per cui quando la terra, nel moversi intorno al sole, si trova all'afelio della sua orbita (§. 381,) il sole ne illumina minor superficie di quando è al suo perielio; ma nel primo caso la porzione del disco solare che invia raggi su questo nostro pianeta è maggiore di quella quando si trova al perielio.

Per essere cos. $x = \frac{r - R}{d}$ negativo quando è $R > r$, e quindi l'angolo $x = agd$ maggiore di 90°, risulta l'angolo di supplemento *ago* minore di 90°. Aggiungendo a quest'ultimo angolo quello retto *oag* fatto dalla tangente col raggio si avrà $ago + oag < 180°$ per cui le rette *go* ed *ae* saranno convergenti e lo saranno le due tangenti A*a*, B*b*. Donde si ricava che, *se il globo di raggio maggiore è l'illuminante, l'ombra prodotta da quello opaco ha la forma di cono,* il cui vertice sarà in O dove concorrono le tangenti medesime e il diametro della base di quell'ombra eguaglia quello del globo opaco. La nostra terra quindi illuminata dal sole, produce sempre dietro di sè un'ombra conica. Quando poi il globo illuminante sia il minore, l'ombra che ne nasce è un tronco di cono, dove il diametro della base minore riesce eguale a quello del globo opaco, pel quale l'ombra stessa è prodotta. Che se i due globi sono eguali, allora è $x = 90°$ e l'ombra in ogni caso risulta di forma cilindrica.

Nel triangolo OAG, per essere *hg* parallela alla base, si ha G*h* : *h*A : : G*g* : *g*O dove, sostituendo alle linee i loro valori e le denominazioni superiori e rappresentando *g*O con *y*, si ha $R - r : r :: d : y$ da cui si ricava $y = \frac{dr}{R - r}$. Epperò se il globo illuminante è quello di maggior diametro si ha per la lunghezza del cono ombroso $y = \frac{dr}{R - r}$. Nel caso del sole e della terra è $r = 1$, $R = 112$, e quando la terra è all' afelio della sua orbita risulta $d = 46640$ ed al perielio $d = 44944$; per conseguenza l'ombra prodotta dalla terra nel primo caso è un cono la cui altezza è di 420 semidiametri terrestri; e nel secondo caso di 404. Se la distanza *d* fra i due globi ha tale grandezza da poter essere considerata come infinita in confronto del raggio *r* del corpo illuminato, allora si ha $y = \frac{\infty \, . \, r}{R - r} = \infty$; cioè l'altezza del cono ombroso è indefinita e i raggi, che circo-

scrivono l'ombra riescono paralleli, per cui l'ombra si trasforma in un cilindro. È appunto questo il caso delle stesse fisse la cui distanza $d$ dalla terra può ritenersi infinitamente grande rispetto al raggio $r'$ della medesima.

748. La luce, che penetra per una piccola apertura in uno spazio oscuro o tenebroso, presenta dei fenomeni somiglianti a quelli dell'ombra precedentemente dichiarati, colla sola differenza che dove vi ha luce dobbiamo sostituire ombra ed all'inverso. Per istituire le sperienze e le indagini di questa specie è necessario poter operare in un ambiente chiuso da ogni lato e impermeabile ai raggi luminosi, e con le pareti tinte di nero per impedire l'influenza della luce riflessa: questo ambiente così disposto chiamasi *camera oscura* o *camera nera*. In essa havvi dal lato di mezzogiorno un'apertura chiusa da imposta, nella quale sono praticati dei fori, che al bisogno si possono aprire per introdurre dei raggi luminosi. Aprendo nelle ore meridiane alcuno di quei fori, i raggi solari entrano nella camera e compariscono con tutto il loro splendore in mezzo a quello spazio bujo; talchè si possono istituire su di essi diverse indagini.

Siano, P, S, Q tre punti luminosi, i cui raggi penetrano nella camera oscura pel foro $ab$ (fig. 15) e producono in essa dei fasci piramidali di luce $Ppp'$ $Sss'$ $Qqq'$, che in alcuni luoghi s'intersecano e danno nascimento a spazii diversamente rischiarati. Lo spazio $pabq'$ è illuminato da tutti tre i punti irradianti, gli spazii $sap'$, $s'bq'$ invece ricevono luce soltanto da due punti, mentre gli altri spazi $saq$, $s'bp'$ sono rischiarati da un solo punto luminoso, e il rimanente della camera in A, B non riceve verun raggio diretto di luce. Nel primo spazio vi sarà dunque il *nucleo dell'immagine luminosa* o il massimo illuminamento : in quelli contigui la luce riuscirà minore e nei seguenti ancor meno ed alfine verrà l'oscurità completa. Si avrà dunque una degradazione di luce analoga a quella precedentemente considerata (§. 744) e dall'ombra in A, B si passerà alla piena luce in $pabq'$ con un'oscurità decrescente, e questa degradazione si farà con isfumature insensibili quando lo spazio occupato dai punti irradianti PSQ sia per intero luminoso, generandosi in tal caso la vera *penombra*.

749. Potremo dunque considerare il complesso dei punti luminosi compresi nello spazio PSQ come il corpo illuminante (fig. 15) e lo spazio dell'apertura $ab$ come il corpo illuminato, e gli accidenti di luce in questo caso, che succedono nella camera oscura, sono somiglianti a quelli d'ombra, che avvengono di dietro al corpo opaco

illuminato (§. 747). Ciò che qui importa di considerare si è il caso del sole come corpo illuminante. Alfine d'uno dei precedenti paragrafi (§. 747) si è trovato che, quando la distanza del corpo illuminante è di tale grandezza da potersi ritenere come infinita relativamente allo spazio illuminato, l'ombra che ne nasce ha la forma cilindrica; perciò, essendo il sole posto a tale distanza che riesce infinita relativamente alla grandezza *ab* dell'apertura, lo spazio illuminato nella camera oscura, che qui fa le veci dell'ombra, riuscirà un fascio cilindrico di luce, come appunto mostra l'osservazione.

Il fascio è sempre un cilindro qualunque sia la figura del foro *ab*, per dove la luce penetra nella stanza; talchè, se si riceve perpendicolarmente sopra un piano, forma su di esso un cerchio illuminato. Per intendere come ciò avviene, bisogna notare che l'imagine sul piano ha sempre la forma del corpo luminoso qualunque sia la figura dell'apertura, per la quale la luce entra a produrre l'imagine medesima. Infatti da ciascun punto del disco solare partiranno dei raggi luminosi, i quali riusciranno sensibilmente paralleli fra loro in causa dell'enorme distanza, cui si trova il sole. Un punto S del disco stesso (fig. 16) manda dei raggi paralleli, i quali lambendo l'orlo dell'apertura quadrata *abcd* producono perpendicolarmente sopra un piano, posto nella camera oscura, l'imagine quadrata *s*. Il punto irradiante che immediatamente segue, produrrà un'altra imagine quadrata, la quale si sovraporrà quasi alla prima *s*, sorpassandola soltanto d'uno spazio infinitamente piccolo per essere i due punti luminosi l'uno immediatamente di seguito all'altro. Lo stesso avverrà delle imagini consecutive prodotte da tutti i punti luminosi, che formano l'orlo del disco solare; talchè l'imagine del sole nella camera oscura si avrebbe col girare attorno al disco medesimo il fascio Ss supposto rigido. Giacchè con quel movimento si genera dall'estremità opposta sul piano nella camera oscura l'imagine circolare A simile al disco medesimo, il cui diametro starebbe a quello del disco solare, come la distanza dell'apertura, fatta nell'imposta della camera oscura, dal piano dove si riceve l'imagine, sta alla distanza del sole dalla terra. Se l'apertura praticata nell'imposta della camera nera è triangolare o di qualunque altra figura, si ha sempre l'imagine circolare sul piano perpendicolare simile al disco solare, e la figura di quest'imagine non dipende dall'apertura ma da quella del corpo illuminante. È appunto per ciò che, introducendo nella camera oscura la luce della luna quando è falciata, si ha sul piano un'imagine che ha la figura di falce simile a quella della luna.

Si comprende da quanto si è esposto come nei luoghi ombreggiati da molti alberi fronzuti, compariscono sul suolo delle imagini rotonde qualunque sia la figura dell'intervallo lasciato dalle foglie, pel quale trovano adito i raggi solari. Queste imagini sono circolari se i raggi cadono perpendicolarmente sul piano sottoposto, altrimenti sono elittiche come sezioni oblique del fascio luminoso cilindrico.

750. Le dottrine esposte sull'ombra prodotta da un corpo opaco in mezzo allo spazio rischiarato, e sull'imagine luminosa generata dai raggi solari che entrano per un'apertura in uno spazio oscuro, si applicano alla spiegazione di parecchi fenomeni della natura ed effetti dell'arte.

Se con qualsiasi metodo siasi conosciuta l'esatta misura dell'altezza *bc* di un qualunque corpo sopra il suolo orizzontale *cg* (fig. 17), si può determinare per una data ora del giorno l'elevazione del sole S sull'orizzonte misurando l'ombra portata *cf*. Infatti, chiamando $a$ l'altezza dell'oggetto *bc* e $d$ la lunghezza dell'ombra *cf*, dal triangolo rettangolo *bcf* per l'angolo $bfc = x$, che misura l'elevazione del sole, si avrà tang. $x = \frac{a}{d}$. Se è $a = 44$ metri e l'ombra $cf = 12$ metri si avrà tang. $x = \frac{44}{12} = 3{,}6666$. A questa lunghezza dalla tangente si trova, nelle tavole trigonometriche, che corrisponde l'angolo $x = 74^\circ\ 44'$. Dunque in quell'istante il sole era elevato sull'orizzonte di $74^\circ\ 44'$.

Il sole dal suo nascere sino al mezzogiorno va sempre più elevandosi sull'orizzonte, e poscia ritorna ad abbassarsi sino al tramonto. Un corpo quindi, stabilmente fisso sopra un piano, produrrà ogni giorno due ombre eguali, l'una avanti e l'altra dopo il mezzodì. Queste ombre, d'uguale lunghezza, principalmente durante l'equinozio, avvengono in due istanti, che si trovano per l'ugual tempo discosti dal mezzodì. Determinando le due ombre eguali, che partono dallo stesso punto o centro preso al piede del corpo opaco, e dividendo per metà l'arco che esse comprendono, si avrà il punto in cui cade l'ombra del mezzodì, ossia la *linea meridiana* del luogo. Si può appunto procedere in tal modo per segnare la meridiana sopra un piano stabile dato, sul quale si è eretto un corpo opaco detto *gnomone*. Gli orologi solari dipendono dagli stessi principii. Talvolta il corpo opaco ha un'apertura e il mezzogiorno è segnato dall'imagine lucida prodotta dai raggi solari che passano per essa, e dal moto di quest'imagine, come da quello dell'ombra, si deducono le ore avanti e dopo il mezzodì.

Il *quadrante solare* è un orologio portatile, che si espone al sole e si orienta con una calamita: per un foro praticato in una lamina, i raggi solari formano un'imagine lucida che si conduce sempre sopra una linea facendo girare la lamina, la quale con un indice segna sul quadrante graduato le diverse ore del giorno. L'*anello orario* ha nel suo perimetro un piccolo foro per dove, quando è rivolto verso il sole, passano i raggi che segnano sulla superficie interna l'ora del giorno. Questo foro è mobile per collocarlo nella giusta posizione secondo la latitudine del luogo e secondo i tempi differenti dall'equinozio.

751. Si può determinare l'altezza d'un oggetto verticale, p. e. d'un campanile, d'un obelisco, d'un edifizio qualunque, coll'ombra ch'esso getta sopra il suolo orizzontale. A tal fine si prende un'asta PQ d'una nota altezza $a$ e si colloca verticalmente in modo che la sua estremità sia lambita dal raggio luminoso AD tangente alla sommità dell'edifizio e determinante la lunghezza BD dell'ombra (fig. 18), e contemporaneamente si misura con diligenza la lunghezza BD dell'ombra medesima, poscia la distanza BQ dal piede dell'asta da quello dell'edifizio. Notando con D,$d$ le lunghezze BD, BQ, si avrà pei triangoli simili l'altezza ricercata dalla proporzione: $D-d : D :: a : x = \frac{aD}{D-d}$.

Quando un corpo opaco è illuminato da un punto irradiante produce un'ombra, che è limitata da un conoide, che ha quel punto per vertice. L'ombra portata, la quale nasce sopra un piano che tagli il conoide perpendicolarmente all'asse, ha servito per delineare il profilo d'un oggetto, come sarebbero i lineamenti della figura d'una persona. La persona di cui si vuol ritrarre il profilo, si dispone parallelamente al piano, sul quale si distende un foglio di carta. Dalla parte opposta sta una candela accesa o una lucerna, di cui si concentra la luce con una lente, se la fiamma ha una certa grandezza: il punto irradiante S diventa la sommità del conoide luminoso, che ha per base il profilo *abcde...* da essere copiato (fig. 19). Questa base viene portata dall'ombra sul piano e vi forma la base ABCD... dello spazio ombroso simile a quella precedente, che si delinea con una matita. L'ultima base ABCD... è il disegno in profilo o il *profilamento* della persona, o come dicono i Francesi la *silhouette*. Questa maniera di delineare il profilo d'una persona era in uso sino ai tempi di Benvenuto Cellini, il quale nella sua *Orificeria* dice: *gli ponevano un lume dalla banda di dietro ecc., e subito che si vedeva l'ombra, ch'esso mostrava sul muro, prestamente si profilava la detta ombra.*

Il giuoco delle *ombre cinesi* per intrattenere la fanciullezza si ese-

guisce nell'egual maniera del profilamento. Esso consiste in tante figure di cartone tagliate in profilo, che, illuminate di dietro, gettano l'ombra sopra un piano translucido. Le figure hanno dei movimenti che si trasmettono alle ombre proiettate sul piano. In tal maniera si danno delle rappresentazioni colle figure delle ombre, vedute dagli spettatori collocati dall'altra parte del piano translucido. Tanto in questo giuoco come nel profilamento l'ombra deve essere netta e ben distinta nei suoi contorni, e non formare quindi la penombra; a tal fine importa non solo che la luce sia intensa, ma che si diffonda da uno spazio il più ristretto possibile per avvicinarsi ad un sol punto irradiante, col quale non ha luogo la penombra (§. 744).

752. Si è veduto che la densità dell'ombra dipende dall'intensità della luce da cui è contornata (§. 744); e se due ombre sono eguali, gli illuminamenti, da cui nascono, devono pure essere eguali. Su questo principio è basato il metodo per determinare l'intensità relativa della luce, che si diffonde da due sorgenti. Pimieramente diremo che chiamasi *fotometro* lo strumento o l'apparecchio qualunque, che serve alla misura dell'intensità della luce.

A preferenza d'ogni altro metodo per misurare l'intensità della luce mi sono sempre servito del fotometro fondato sulla densità delle ombre, costruendo il semplicissimo apparato seguente (1): un'assicella nera EFD della lunghezza di 32 centimetri con 20 di larghezza, ha assicurato normalmente ad un suo capo un'altra assicella CD egualmente larga e dell'altezza di 15 centimetri coperta di carta bianca (fig. 20). L'assicella EFD si dispone orizzontalmente, e nel mezzo della sua larghezza alla distanza di cent. 22 da CD vi ha piantato il prisma quadrangolare nero P delle dimensioni al più di due centimetri di lato. Ad una certa distanza da questo apparato sono posti i due lumi M, N, da mettersi a confronto, separati fra loro da un dato intervallo. Essi illuminano il piano bianco verticalmente situato a loro dirimpetto, e vi producono due ombre in causa del prisma interposto fra il piano stesso ed i detti lumi: l'una per l'intercettazione dei raggi del primo lume, l'altra per l'intercettazione dei raggi del secondo. Lo spazio all'intorno delle due ombre è egualmente rischiarato dal chiarore dei due lumi, e queste ombre possono essere portate alla distanza fra loro di qualche centimetro, in modo da poterle osservare contemporaneamente in vicinanza ed istituirne un immediato confronto. Il lume M produce per l'interposizione del corpo

(1) Vedi gli *Annali di fisica e chimica* ecc., t. VI, pag. 317.

opaco P l'ombra A, e il lume N l'ombra B. Le due ombre sono all'intorno egualmente rischiarate; talchè la loro densità relativa dipende soltanto dalla minor quantità di luce, di cui ciascuna di essa è dotata. L'ombra A, mentre resta priva della luce proveniente dal lume M, riceve quella che si diffonde dall'altro N; e così all'ombra B è intercettata la luce di N ricevendo essa quella di M. Se i due lumi fossero dotati d'ugual facoltà illuminante, o producessero sul piano CD egual luce; è chiaro che le due ombre riuscirebbero d'eguale densità. Se i due lumi sono di differente forza, quello M di maggiore splendore si allontani dal piano di proiezione CD di tanto che le due ombre A, B compariscano d'eguale densità: in questo caso si misurino le distanze dei due lumi dal piano di proiezione, e si avranno le loro facoltà illuminanti in ragione inversa dei quadrati di queste distanze (§. 742).

La giustezza della valutazione dell'intensità relativa dei due lumi dipende dall'esattezza dell'osservazione delle due ombre A, B. Egli è per ciò che, oltre aver sempre associato nelle indagini da noi intraprese con questo mezzo un pittore od altre persone abituate a giudicare delle minime degradazioni di luce, ci siamo serviti d'un lungo tubo di cartone annerito tanto internamente che esternamente, al quale si applica l'occhio come ad un cannocchiale per osservare le ombre al coperto dell'influenza diretta dei lumi. La sensibilità dell'apparecchio così adoprato era tale che bastava trasportare di qualche centimetro più o meno distante uno dei due lumi per accorgersi tosto facilmente della diminuzione o dell'accrescimento di densità nell'ombra corrispondente.

Nella valutazione della facoltà illuminante si prende per unità un lume di noto effetto, p. e. la fiamma d'una lucerna a livello costante e simili. Se M è questo lume, mentre N è quello di cui si cerca la facoltà illuminante relativamente ad M, e se per avere le ombre A, B d'uguale densità siansi essi dovuti collocare rispettivamente alle distanze $a$, $b$ dal piano di proiezione, si avrà per le facoltà illuminanti $M : N :: b^2 : a^2$, donde, prendendo il lume M per unità, si deduce l'intensità della luce di $N = \frac{a^2}{b^2}$. Il processo fotometrico su descritto, adoprato nella suddetta maniera, si è da noi trovato di tale esattezza che, dopo aver valutato l'intensità della luce d'un terzo lume T per rapporto ad M preso per unità, si è trovato nell'intensità relativa di N, T l'uguale risultato, all'esattezza d'un centesimo di quello ottenuto mettendo direttamente a confronto gli stessi due

lumi N, T (1). S'intende che questa sorta d'osservazioni devono essere fatte in una camera al coperto di qualunque altra luce estranea ai due lumi, e quindi riescono più sicure istituite di notte che di giorno.

Un altro fotometro consimile al precedente consiste in due fogli di carta d'uguale bianchezza e grossezza disposti in maniera che, mentre uno è rischiarato dal lume di cui si vuole determinare l'intensità, l'altro lo è dal lume che serve di unità di misura. Quest'ultimo si avvicina o si allontana sinchè gl'illuminamenti dei due fogli si riconoscano eguali, e dalle distanze cui si trovano i due lumi si deduce colla nota legge (§. 742) la loro facoltà illuminante relativa. I lumi sono collocati in due canali rivestiti al di dentro di tinta nera in modo che i rispettivi loro raggi luminosi giungano sui due fogli di carta o sui due piani translucidi senza mescolarsi. Con questo processo non si può conseguire l'esattezza che si ha mediante il precedente: 1° è difficile possedere due fogli di carta, che trasmettano egualmente il fluido luminoso; 2° non si può così facilmente impedire con canali l'influenza d'un lume sull'effetto prodotto dall'altro; 3° l'eguaglianza degli illuminamenti sulla carta non è così facile a stabilirsi come quella delle ombre. Non si evitano d'altronde tutti questi inconvenienti facendo cadere sui due fogli di carta l'ombra prodotta da un corpo opaco collocato dirimpetto a ciascun lume.

I due processi descritti furono adoprati nel trascorso secolo da Lambert, Bouguer e Rumford nelle loro indagini di fotometria. Il primo di essi, usato nella maniera annunziata, ci sembra più adatto dell'altro per condurci a risultati soddisfacenti. Richtie, che ha cercato di perfezionare il secondo processo, non ha fatto da quanto ci pare che renderlo più imperfetto. I raggi dei due lumi M, N entrano dalla parte opposta nella medesima cassetta quadrangolare ABCD internamente annerita (fig. 21); verso la metà incontrano sotto un angolo semiretto i due specchi *ac*, *bc*, dai quali sono riflessi sulla carta oliata o altra lamina translucida *pq*, dove formano due imagini luminose *m*, *n*. Si avvicina o si allontana uno dei lumi in modo che le due imagini *m*, *n* sieno d'eguale splendore e dalla distanza, colla nota legge, si valuta la loro facoltà illuminante. Questo fotometro è eguale al precedente, nel quale i raggi luminosi entrano nella cassetta ABCD divisa pure da un diaframma, e giungono direttamente all'opposta estremità, dove è distesa la carta o la lamina translucida. Non essendovi gli specchi, non vi è pericolo che l'intensità della luce

(1) Si vegga la mia Memoria nel t. VI su citato degli *Annali*, pag. 315.

sia variata nella riflessione; giacchè vedremo che la luce, riverberata da un corpo, è da questo più o meno assorbita e per quanto si cerchi di prendere i due specchi eguali nelle loro qualità mecaniche, fisiche e chimiche, è difficile l'ottenere una tale eguaglianza perfetta, che d'altronde può essere alterata per deposizioni di particelle esilissime sugli specchi medesimi. Dunque questo fotometro, oltre aver i difetti del precedente, ha di più quello degli specchi (1).

La disposizione fotometrica di Richtie presenterebbe soltanto il vantaggio di poter facilmente mettere a confronto la luce del sole o di qualche altro astro con quella d'un dato lume artificiale, collocando l'apparato in modo che da un lato ricevesse esternamente da una camera oscura i raggi luminosi dell'astro e da quello opposto i raggi del lume da servire d'unità di confronto.

753. Nella supposizione che il calorico, proveniente da un corpo, sia proporzionale alla luce da cui è accompagnato, alcuni hanno costrutto dei fotometri sullo stesso principio del termometro (§ 134). Quello di Leslie è appunto fondato su questo principio. Esso consiste in un tubo di vetro ripiegato parallelamente a se stesso a rami ineguali, il più lungo dei quali è inclinato e termina nella bolla A di vetro o smalto annerito (fig. 22) e l'altro nella bolla trasparente B di vetro. Nel tubo si trova del liquido colorato, che ascende sino ad una certa altezza nei due rami. Esso è graduato come il termometro riscaldando la palla annerita A, e segnando sulla tavoletta il grado di riscaldamento indicato dal termometro col bulbo posto alla medesima azione di calore della bolla A. Lo strumento è coperto di una campana di cristallo. Esposto all'azione del sole, i raggi luminosi e calorifici, che colpiscono la bolla trasparente B, l'attraversano senza riscaldare l'aria in essa contenuta; quelli che colpiscono la bolla nera A, ne sono assorbiti, dilatano l'aria e fanno abbassare il liquido d'un certo numero di gradi nel ramo di tubo corrispondente. I gradi di abbassamento del liquido nel tubo della bolla A indicano aumento di calore e quindi di luce, e quelli d'innalzamento al contrario diminuzione.

Lo strumento di Leslie nello spazio libero dell'atmosfera mostra l'aumento della luce solare dallo spuntar dell'aurora sino alle ore meridiane e le più illuminate del giorno e poscia il decrescimento sino al tramontare del sole. Esso ci fa altresì accorti che la luce so-

(1) Questo metodo fotometrico fu reso più comodo nella sua applicazione da Colladon, su di che può vedersi l'opera: *Recueil des travaux de la Société des Sciences, de l'Agric., et des Arts de Lille* 1825, pag. 20.

lare va aumentando dal solstizio d'inverno sino nel cuore dell'estate, dopo cui ritorna a diminuire. I gradi di questo fotometro, oltre essere fondati sull'ipotesi che alla luce sia sempre associato in proporzione il calorico, il che di rado si verifica, principalmente per le sorgenti artificiali di luce, possono dare delle differenze sensibili dipendenti dalle qualità del vetro della campana e dalla bolla trasparente. È per questa e per altre ragioni che lo strumento di Leslie non viene adoprato nelle indagini fotometriche. Esso però è stato applicato dal-autore a valutare l'intensità della luce del sole in confronto di quella della fiamma d'una candela. Leslie secondo le sue sperienze ha trovato che l'azione della fiamma d'una candela sullo strumento è in ragion inversa del quadrato della distanza e che alla distanza di pollici 2 (millim. 50,8) l'azione di questa fiamma è indicata da 6 gradi del fotometro; per cui alla distanza di 4 piedi o di pollici 48 (millim. 219,2) una tal azione diventerà di $\frac{1}{96}$ di grado, giacchè il rapporto di 6 : $\frac{1}{96}$ o di 576 : 1 è l'inverso dei quadrati dei numeri 2 e 48 od 1 e 24. Ora alla distanza di 4 piedi la grandezza apparente della fiamma della candela è eguale alla grandezza apparente del sole: e siccome la luce solare non indebolita dall'atmosfera produrrebbe sul fotometro l'effetto di 125 gradi; così la luce del sole è 12000 più intensa di quella della fiamma d'una candela. Il che significa, dice Leslie, che una particella del disco solare appena del diametro di $\frac{1}{2}$ pollice (millim. 12,7) diffonderebbe tanta luce quanto quella proveniente dalle fiamme di 12000 candele. L'intensità della luce solare, così determinata da Leslie, si deve intendere come approssimata; giacchè Bouguer e Wollaston, col processo dell'eguaglianza delle ombre, l'anno valutata maggiore.

Richtie ha cambiata la costruzione di questo fotometro in modo da far agire contemporaneamente sulla colonna liquida i raggi calorifici della luce, di cui si vuole valutare l'intensità, e quelli del lume preso per unità di misura. Si rendono le azioni eguali coll'avvicinare od allontanare dallo strumento il lume di confronto, ed ottenuta in tal modo tale eguaglianza si deduce, colla nota legge delle distanze, l'intensità relativa delle due luci. Dello strumento di Leslie si è fatto anche un *fotometro ad evaporazione*, dove la bolla annerita contiene un liquido facilmente evaporabile, come alcoole. Il calorico fa evaporare questo liquido, il quale s'innalza allo stato

aeriforme e passa per un tubo incurvato in altra bolla trasparente, dove si ricondensa e si raduna nel tubo sottoposto. Dalla quantità di liquido in tal maniera distillato si deduce la quantità di luce che associata al calorico ha colpito durante un dato tempo la bolla annerita. Questo strumento serve per la sola luce solare. Di tutti i processi fotometrici descritti il migliore, e perciò il più adoprato è quello dell'eguaglianza delle ombre (§. 752). Vi ha anche il fotometro di Lampadius fondato sopra un altro principio, di cui in seguito parleremo.

Spesso si presenta il bisogno nelle scienze e nelle arti di determinare il rapporto dell'intensità della luce di differenti lumi. L'esperienza sussidiata dal calcolo conduce a tale determinazione. Tuttavolta sarebbe molto comodo di possedere un *fotometro comparabile.* dal quale si avessero immediatamente i rapporti della forza illuminante delle diverse sorgenti luminose. Lo strumento adempirebbe alla condizione principale, se si conoscesse una luce d'intensità costante, facile ad essere prodotta, la quale riuscirebbe il termine di confronto per tutte le altre luci. Alcune accademie hanno indarno domandato con premi un fotometro comparabile (1). L'ostacolo principale per avere un fotometro semplice ed esatto si è che l'intensità della luce dipende molto dalle proprietà naturali dei corpi luminosi ed illuminati, molte delle quali non si prestano ad un'esatta misura ed a valutazioni matematiche.

754. Se la luce nel propagarsi s'imbatte in corpi opachi viene da questi riflessa. Le esperienze più ovvie provano la riflessione dei raggi luminosi. Si è già detto che i corpi ci riescono visibili in quanto che inviano al nostro occhio per riflessione la luce, da cui sono illuminati. Si collochi dirimpetto alla fiamma d'una fiaccola un corpo opaco: gli oggetti che si trovano nell'ombra non restano del tutto privi di luce e si mostrano ancor all'occhio sebben debolmente rischiarati. Da ciò si apprende che gli oggetti medesimi ricevono per riflessione dei raggi luminosi dai corpi circostanti. La riflessione può essere *regolare,* detta anche *speculare,* ed *irregolare.*

La riflessione della luce segue le medesime leggi della riflessione delle onde sonore (§§. 700 e 702). Per dimostrare sperimentalmente le leggi fondamentali della catottrica serve nelle scuole l'*apparato per la riflessione.* Esso si compone del cerchio di legno ABD unito verticalmente a mastiettatura col piede P (fig. 23). Al diametro

(1) Vedi *Bulletin* di Ferrussac, t. II, pag. 200.

AB vi sono infisse normalmente due verghette scanalate *m*, *n*, nelle quali si può introdurre una superficie metallica ben levigata e splendente, il cui mezzo corrisponde al centro C del cerchio graduato ABD Si porta l'apparato nella camera oscura e s'introduce in essa il raggio luminoso *p*C, che si fa cadere sul mezzo della superficie metallica: nell'oscurità della camera si vede ch'esso viene riflesso nella direzione C*q* facendo l'angolo d'incidenza *p*CD eguale a quello di riflessione *q*CD, e che i due raggi colla normale CD alla superficie riflettente si trovano nel medesimo piano.

Si può istituire l'esperimento anche colla luce del pieno giorno. In tal caso, per distinguere il raggio che subisce la riflessione, si congiunge una lente all'orlo del cerchio mediante una vite di pressione: la lente concentra i raggi luminosi sul centro C della superficie riflettente, per cui ripercossi così e riuniti riescono visibili nella direzione C*q* sopra uno scrimaglio translucido applicato all'altro quadrante del cerchio a gradi eguali a quelli, cui è applicata la lente.

La normale CD al piano riflettente chiamasi anche *cateto*, il raggio luminoso *p*C *raggio incidente*, e l'altro C*q* *raggio riflesso*; i due piani DC*p*, DC*q* *piani d'incidenza e di riflessione*. Le leggi dunque della luce riflessa si riducono a due che possono essere così annunziate; 1° *Il raggio incidente e il riflesso si trovano nello stesso piano, che passa per la normale; 2° l'angolo di riflessione è eguale a quello d'incidenza*. Talvolta si prendono per gli angoli d'incidenza e di riflessione i complementi *p*CA, *q*CB, che sono pur essi eguali. Questa legge fondamentale della catottrica viene descritta da Dante nei seguenti versi, nei quali chiama la normale, da cui si misurano i due angoli, la linea *del cader della pietra*.

*Come quando dall'acqua e dallo specchio*
*Salta lo raggio all'opposita parte,*
*Salendo su per lo modo parecchio*
*A quel che scende, e tanto si diparte*
*Dal cader della pietra in egual tratto,*
*Sì come mostra esperienza ed arte* (1).

755. Un raggio luminoso può incontrare nel suo cammino un corpo che sia ben *liscio* e *pulito* oppure *scabro* e *striato*, *permeabile* o *impermeabile* al raggio medesimo, vale a dire *trasparente* od *opaco*. Se è liscio, allora ha luogo la *riflessione regolare*

(1) *Purgatorio*, canto XV, verso 16 e seguenti.

o *speculare* secondo le leggi precedentemente determinate; se è scabro, succede la *riflessione irregolare.* I corpi lisci che riflettono regolarmente la luce, si dicono *splendenti*, mentre gli altri sono soltanto visibili. Quando poi il corpo è anche permeabile, allora porzione del raggio lucido entra nel corpo e lo attraversa secondo altre leggi, che apprenderemo in seguito. Osserviamo altresì che per la riflessione regolare si presenta al nostro occhio sotto la sua forma il corpo illuminante, mentre per quella irregolare vediamo il corpo illuminato. In questo secondo caso i raggi luminosi, che colpiscono il corpo, sono divisi, sparpagliati e riflessi in tutte le direzioni dalle ineguaglianze delle superficie, e i raggi così guastati nelle loro direzioni e dispersi dalla riflessione irregolare non possono dipingere le imagini dei corpi dai quali provengono, ma soltanto quelle dei corpi che li riflettono. Al contrario nella riflessione speculare, pervenendo i raggi all'organo della vista con l'ordine e colla mescolanza che hanno nel partire dai corpi lucidi, ne conservano le imagini e le dipingono al naturale, lasciando alle dimensioni i loro rapporti e talvolta variandole con bizzarre ma sempre uniformi e sempre ordinate trasformazioni. Siccome poi anche i migliori riflettori, mentre rappresentano all'occhio gli oggetti lucidi, riescono o poco o tanto a distanze non molto grandi anch'essi visibili; così dobbiamo conchiudere che i corpi splendenti, oltre riflettere regolarmente il lumico, ne inviano anche una porzione per riflessione irregolare.

Bisogna altresì ben distinguere l'intensità della luce diretta sopra un corpo, dall'intensità di quella che apparisce nella riflessione. La prima si è veduto quali leggi segue (§§. 742 e 743), e la seconda dipende bensì dall'altra, ma è soggetta altresì a leggi più complicate attinenti alla natura dei corpi, all'angolo d'incidenza dei raggi diretti, alla proprietà che in date circostanze possiede la luce medesima di essere polarizzata, ed alle diverse sorgenti, di cui parleremo più avanti. Bouguer ha posto a confronto la quantità di luce riflessa da alcuni corpi e quella dai medesimi ricevuta. Egli ne valutava il rapporto servendosi del secondo dei due processi fotometrici descritti (§. 752), rischiarando due spazi d'egual grandezza e natura, l'uno colla luce diretta e l'altro colla luce riflessa, in modo che risultassero all'occhio d'eguale splendore (1). Operando in tal maniera ha trovato

(1) Si vegga l'opera di Bouguer: *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Parigi 1760.

che la quantità di luce riflessa varia al variar l'angolo d'incidenza. Prendendo, per misura dell'inclinazione, l'angolo del raggio incidente con una linea condotta sul piano riflettore, ha trovato che la quantità di luce riflessa aumenta col diminuire quest'angolo d'inclinazione, e ciò ancor più nei cattivi che nei buoni riflettori. I numeri riportati nel quadro seguente per l'acqua, pel vetro e pel marmo nero ben levigato renderanno manifesta la proposizione annunziata. La quantità di luce diretta su ciascuno di essi corpi è espressa da 1000; per cui i numeri notati esprimono i raggi riflessi dei mille che ne ricevono. L'angolo è contato, come si disse, dalla superficie riflettente e non dalla normale.

| *Inclinazione* | *Acqua* | *Vetro* | *Marmo nero* |
|---|---|---|---|
| 0° 30′ | 721. | — | — |
| 2. 30. | 614. | 584. | — |
| 3. 35. | — | — | 600. |
| 10. — | 333. | 412. | — |
| 15. — | 211. | 299. | 156. |
| 30. — | 65. | 112. | 51. |
| 40. — | 34. | 57. | — |
| 50. — | 22. | 34. | — |
| 60. — | 19. | 27. | — |
| 80. — | 18. | 25. | 23. |

Sotto l'inclinazione di due gradi e mezzo la superficie dell'acqua stagnante riflette una maggiore quantità di luce della superficie anteriore del vetro; mentre a dieci gradi succede all'inverso, riuscendo maggiore il numero dei raggi riflessi dal vetro in confronto di qnelli ripercossi dall'acqua; e così a misura che cresce l'angolo d'inclinazione. Più sono piccoli gli angoli d'inclinazione più è grande la luce riflessa, la quale coll'aumentare degli angoli nei cattivi riflettori va rapidamente diminuendo: l'acqua sotto l'angolo di mezzo grado di 1000 raggi che riceve ne riflette 721 mentre a 30 gradi si riducono soltanto a 65; il marmo nero levigato e pulito sotto l'angolo di circa tre gradi e mezzo riflette 600 raggi sopra mille, che a 30 gradi si riducono a 51. I cattivi riflettori sotto piccoli angoli d'inclinazione riflettono quasi altrettanti raggi luminosi come i buoni riflettori: il mercurio, che appartiene a questa seconda classe, riflette a 21 gradi circa 637 raggi, e per gli altri angoli può ascendere sino a 700 e discendere sino a 600. Versando dell'acqua sul mercurio contenuto in un vaso e facendo cadere sui liquidi dei raggi luminosi, si formano

per riflessione due imagini, l'una pei raggi riflessi dalla superficie dell'acqua, e l'altra per quella del mercurio sottoposto. Nei grandi angoli d'inclinazione scompare l'imagine prodotta dall'acqua, penetrando i raggi per questo liquido e andando a cadere sulla superficie del mercurio; al contrario nel diminuire l'angolo comparisce l'imagine dell'acqua e diventa sempre più chiara quanto è minore l'angolo, e ciò a scapito dell'imagine dipinta per riflessione sulla superficie del mercurio. Ai 10 gradi d'inclinazione, le due imagini riescono eguali: siccome poi l'acqua sotto quest'inclinazione di 1000 raggi ne riflette 333, e dei 666 che penetrano in essa, 166 sono assorbiti dal mercurio e 500 riflessi; così bisogna che di questi 500 raggi nel ritornare nell'aria a traverso all'acqua ne siano riflessi 167 dalla superficie interna di questo liquido, affinchè ne possano rimanere 333 per produrre l'imagine eguale a quella dei raggi riflessi dalla superficie esterna dell'acqua.

Lambert ha illuminato una parete bianca mediante i raggi, diretti perpendicolarmente su di essa dalla fiamma d'una candela, e con un corpo opaco ne ombreggiò una parte, sulla quale fece cadere la luce riverberata da quattro specchi comuni di vetro a stagnuola, sinchè essa avesse eguale chiarezza della luce diretta. La luce cadeva anche sugli specchi e da questi sulla parete quasi perpendicolare, e dalle misure prese egli trovò che di 10000 raggi, 4648 vanno perduti mentre 5352 sono riflessi. In termine medio egli crede che la foglia della stagnuola assorba la terza parte della luce; questa perdita però si deve ritenere minore quando la luce per l'aria giunge direttamente sulla superficie del metallo.

Posteriori agli sperimenti su riferiti intorno alla facoltà riflettente dei corpi, appartengono quelli istituiti da Potter (1), di cui daremo i risultati principali. Egli faceva uso, per mettere a confronto la intensità della luce riflessa con quella diretta, del metodo superiormente dichiarato dell'eguaglianza dell'illuminamento sopra un corpo translucido (§. 752). In tal modo sperimentò la quantità di luce che le superficie metalliche levigate e pulite alla foggia degli specchi, riflettono sotto diversi angoli d'inclinazione, essendo l'inclinazione misurata dalla normale alla superficie riflettente, che noi conteremo in vece dalla superficie stessa per poter immediatamente fare i confronti coi risultamenti superiormente riportati. Si avrebbe dunque che i metalli rifletterebbero la maggior quantità di luce sotto gli angoli più

(1) Si vegga l'*Edimburg Journal of science*, Nuova serie n° 6, pag. 278.

grandi d'inclinazione, e ciò all'inverso dei corpi trasparenti, come l'acqua e il vetro ed il marmo nero. Le lamine speculari, di cui si serviva ne' suoi esperimenti, furono due molto levigate e pulite e riscontrate perfettamente piane. L'una di esse era formata con una lega di parti 14, 5 di stagno e 32 di rame, l'altra d'acciaio colato; e diedero in due esperimenti i risultati seguenti, notando con 1000 i raggi incidenti.

| *Inclinazione* | | *Lega metallica* | | *Acciaio* |
|---|---|---|---|---|
| 20° | — | 651.5 | — | — |
| 30. | — | 649,1 | — | 546,5 |
| 40. | — | 649,2 | — | 539,9 |
| 50. | — | 667,9 | — | — |
| 60. | — | 660,4 | — | 539,9 |
| 70. | — | 694,5 | — | 556,4 |
| 80. | — | 675,1 | — | 588.5 |

Da questi sperimenti si deduce che la lega metallica è dotata di maggior potere riflettente dell'acciaio, quantunque quest'ultimo sia più duro. Si osservi altresì che nella riflessione della luce dalle superficie metalliche ha luogo una polarizzazione che è modificata nel ripetere le riflessioni, come pel primo ha trovato Brewster, il qual fenomeno influisce sulla quantità della luce riflessa. Dagli sperimenti stessi di Potter risulta appunto che la luce in una seconda riflessione riesce sempre minore di quella avuta nella precedente.

Pei corpi trasparenti Potter ha trovato pure che l'intensità della luce riflessa cresce col diminuire l'angolo d'inclinazione, riuscendo tanto più grande quanto più i raggi luminosi cadono obliquamente sulla superficie riflettente. Egli stabilisce una formola somigliante a quella data da Fresnel, nella quale si ha la quantità di luce riflessa in proporzione di quella incidente, e determina in essa le costanti pel vetro crowno, pel flinto e pel vetro comune. Siccome però la luce riflessa da questa specie di corpi è collegata colle leggi della rifrazione semplice e della polarizzazione; così ritorneremo più avanti su questo argomento. In generale diremo che il grado di levigatezza della superficie rende maggiore l'intensità della luce riflessa. La tinta della superficie fa variare pure la quantità di luce bianca riflessa, come apprenderemo meglio nella seguente sezione; osserviamo però di passaggio che la tinta nera, assorbendo i raggi luminosi, dà il minimo di luce riflessa, mentre il massimo grado si ha dalle superficie bianche.

Intanto faremo notare che dalle cose esposte s'intenderà come la

fiamma d'una candela, guardata per riflessione sopra un vetro pulito, comparisce chiara e distinta quando l'angolo dai raggi incidenti colla superficie riflettente è assai piccolo, mentre l'intensità della medesima va diminuendo a misura che aumenta quell'angolo, sinchè quando questo è molto grande diventa insensibile. Parimenti si comprenderà come le lastre di vetro siano appena visibili nell'acqua e nell'olio, dando anche per riflessione molto oscure le imagini degli oggetti. Inoltre l'imagine del sole si osserva impunemente per riflessione nell'acqua, quando i raggi fanno un angolo molto grande colla superficie di questo liquido; mentre riesce abbagliante se l'angolo è molto piccolo. È appunto per questo motivo che si suole osservare il sole per riflessione in un secchio d'acqua per seguire le fasi d'un'eclisse. La luna, secondo Bouguer, ci manda per riflessione una luce 300 mila volte meno intensa di quella che il sole invia direttamente, e ciò in causa dell'assorbire essa e dal riflettere irregolarmente la maggior parte della luce che riceve dal sole. Se il nostro satellite avesse dei laghi di mercurio, i raggi solari venendo riflessi dalla superficie di questo liquido verso la nostra terra ci rappresenterebbero con abbastanza vivacità il gran luminare, quand'anche si trovasse al dissotto dell'orizzonte. Per la stessa ragione il sole riesce abbagliante guardato per riflessione sopra la superficie d'un metallo levigato, come una lamina d'argento; il che non accade se la lastra stessa è cosparsa di vapori col semplice alito o di pulviscoli di qualche materia come quelli di licopodio. Si potrà osservare senza molestia la parete annerita d'un muro o il suolo nudo illuminati dal sole, mentre riesciranno abbaglianti se il muro è bianco e se il suolo è coperto di neve.

656. Tutti i corpi, che riflettono regolarmente la luce e ci rappresentano l'imagine degli oggetti, si chiamano *specchi*. Essi sono generalmente fatti di metallo o di vetro, e la loro superficie, come è chiaro, deve essere diligentemente levigata e molto pulita, ed è in questo senso che il livello delle acque nei laghi e nei mari si chiama lo *specchio del lago e del mare*. Gli specchi sono generalmente *piani* o *curvi*, e questi ultimi *concavi* o *convessi*.

Gli specchi comuni, quantunque consistano in lastre di vetro o di cristallo, sono propriamente specchi metallici, perchè la superficie, che per riflessione produce l'imagine degli oggetti, è la foglia di stagnuola amalgamata di cui è ricoperta la lastra, non essendo in generale che pochissima la luce riflessa dalla superficie anteriore del cristallo in confronto di quella riverberata dal metallo (§. 755). Il cristallo in questi specchi ha l'ufficio di difendere il metallo dall'azione delle

materie esterne che l'ossiderebbero e ne altererebbero il lucido speculare; inoltre presenta la facilità nella fabbricazione per dare alla stagnuola amalgamata una superficie ben unita e liscia atta alla riflessione regolare del fluido luminoso. I migliori specchi di questa specie sono quelli in cui la lastra di cristallo, oltre essere ben liscia e regolare nella sua superficie, ha la minor grossezza possibile, affinchè l'imagine prodotta dalla riflessione della superficie anteriore della lastra medesima si confonda con quella ottenuta dalla riflessione del metallo. Infatti cogli specchi antichi, che hanno la lastra molto grossa, osservando la fiamma d'una candela sotto un piccolo angolo d'inclinazione, si vedono due imagini distinte: l'una prodotta dal cristallo e l'altra un poco più distante generata dal metallo, le quali riescono chiare ambedue per riflettere il cristallo sotto piccoli angoli quasi eguale quantità di luce della superficie metallica. Questi specchi sono di antica data, e Dante ne parla come di cosa notissima ai suoi tempi, designandoli fatti *di piombato vetro* (1).

Si formano gli specchi metallici principalmente di lega di stagno e rame. Quelli per gli strumenti ottici si compongono di 64 parti di rame e 29 di stagno; oppure di 32 di rame e 15 di stagno, 1 di lega d'ottone ed 1 d'arsenico, il tutto in peso (2). La composizione più semplice e, secondo l'assicurazione di alcuni, la migliore è quella fatta di 2 parti di rame ed una di stagno. Del resto si danno parecchie ricette per la composizione di questa specie di specchi, essendosi fatto entrare in essa anche l'oro e il platino. Cogli specchi metallici non si ha l'inconveniente delle due riflessioni come in quelli comuni.

Gli specchi metallici sono generalmente di caro prezzo, e la loro superficie si altera facilmente e si appanna per un lievissimo strato di ruggine che rende le imagini sbiadite, per cui bisogna di tempo in tempo pulirli con gran diligenza. Nelle sperienze e negli strumenti d'ottica si adoprano d'ordinario gli specchi metallici, che non hanno, come quelli comuni, l'inconveniente di dare due imagini. In alcuni casi si usano gli specchi intieramente di vetro, i quali sono formati di una lastra di cristallo, la cui superficie anteriore è ben levigata e

(1) *Inferno*, canto XXIII, verso 25.

(2) Alcuni consigliano la composizione di 48 parti di stagno, 16 di rame, 6 di tartaro rosso, 1, 5 di nitro, 0, 5 d'allume, 2, 2 d'arsenico, che si fa fondere al fuoco agitandola con una spatola finchè non si veda esalare un fumo piccante e micidiale dalla massa, la quale è atta a ricevere dall'arte il più bel pulimento.

pulita, mentre quella opposta è smerigliata e coperta di grosso strato di vernice nera. In tal modo s'impedisce alla superficie interiore di riflettere dei raggi, che alterino quelli riflessi dalla superficie esteriore. Coprendo con un brandello di drappo nero una lastra comune di vetro, si può avere un'idea degli specchi di questa specie.

La teoria degli specchi è fondata sulle leggi annunziate della luce riflessa (§. 754), ed andiamo a dichiararla per ciascuna specie dei medesimi, incominciando da quelli piani.

757. Rappresenti AB la sezione di uno specchio piano (fig. 24), e $px$, $qy$ due raggi paralleli, che cadono sul medesimo facendo rispettivamente i due angoli $px$B, $qy$B, complementi a quelli d'incidenza: essi saranno riflessi sotto gli angoli $mx$A, $ny$A eguali a quelli d'incidenza. Siccome i primi due sono eguali fra loro pel parallelismo dei raggi $px$, $qy$; così riusciranno del pari eguali gli angoli dei raggi riflessi $xm$, $yn$, e perciò questi raggi riusciranno pure paralleli fra loro. Dunque *gli specchi piani non alterano nella riflessione il parallelismo dei raggi incidenti.*

Sia lo specchio piano AB percosso dai due raggi divergenti $px$, $py$ inviati dallo stesso punto irradiante $p$ (fig. 25), dove il primo è riflesso nella direzione $xm$ e il secondo nella $yn$, facendo rispettivamente gli angoli di riflessione eguali a quelli d'incidenza. Si prolunghino i due raggi riflessi e s'incontrino in un punto $q$: risulterà il triangolo $qxy$ eguale a $pxy$, per avere il lato comune $xy$ e gli angoli adiacenti eguali; per cui sarà l'angolo $q$ eguale a $p$, cioè l'angolo che misura la divergenza dei due raggi riflessi $xm$, $yn$ eguale a quello che misura la divergenza dei due raggi incidenti $px$, $py$. Dunque *gli specchi piani nella riflessione non alterano la divergenza dei raggi luminosi.* Se ora supponiamo che i due raggi convergenti $mx$, $ny$ cadano sullo specchio, si proverà nello stesso modo che sono riflessi con egual grado di convergenza. Dunque *in generale gli specchi piani non alterano nella riflessione l'andamento reciproco dei raggi luminosi.*

Questa proprietà degli specchi piani si dimostra con l'*apparato di riflessione* su descritto (§. 754): in tal caso si applica al cerchio un disco di metallo, il quale lungo un suo diametro è fornito di due fori per dove entrano due raggi luminosi paralleli e cadono sullo specchio posto al centro C dell'apparato (fig. 23). Si trova che essi, dopo la riflessione, procedono ancora parallelamente formando sullo scrimaglio due imagini distanti fra loro egualmente come i due fori da cui provengono. Per distinguere l'uno dall'altro i due raggi, è applicato ad uno dei fori del disco un vetro colorato, e così le due luci,

l'una bianca e l'altra colorita, si vedono tanto per incidenza quanto per riflessione procedere parallelamente nello spazio.

Cogli specchi piani si può determinare l'altezza verticale AB d'un oggetto qualunque (fig. 18). A tal fine si dispone orizzontalmente sul terreno uno specchio piano alla distanza BD dal piede dell'oggetto, la quale è esattamente misurata. Si conduce sullo specchio con un filo teso una retta perpendicolare all'orizzontale BDG tirata sul terreno, e poscia un osservatore, stando ritto sulla persona, si allontana sinchè, traguardando coll'occhio in un punto dello specchio segnato dal filo, veda per la riflessione DC il raggio incidente AD della sommità dell'oggetto. Si avranno con ciò i due triangoli simili ABD, CGD, i quali colla proporzione DG : CG : : BD : AB faranno conoscere l'altezza AB dell'oggetto: giacchè oltre BD è nota l'altezza CD dell'occhio dell'osservatore e la distanza CG di lui dallo specchio.

758. La riflessione della luce si fa con tale esattezza, secondo la legge dimostrata dell'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione (§. 754), che si è impiegata nella misura degli angoli di due superficie piane e levigate, imaginando degli strumenti appositi, che hanno preso il nome di *gonimetri a riflessione*. Per ben comprendere il principio di costruzione del gonimetro a riflessione, sia *abc* un prisma o un poliedro qualunque di cui si vuole misurare l'angolo diedro *abc* fatto dalle due facce *ab*, *bc* (fig. 26). Supponiamo che il prisma venga disposto in maniera che la linea d'intersezione, delle due superficie *ab*, *bc* formanti l'angolo diedro, sia orizzontale, e che applicando l'occhio ad un foro stabilito O si veda per riflessione un punto fisso S, talchè sia l'angolo d'incidenza S*eb* eguale a quello di riflessione O*ea*. Fatto ciò, si giri il prisma sopra un asse parallelo all'intersezione delle due superficie *ab*, *bc*, in modo che sull'altra superficie dell'angolo diedro si veda per riflessione il punto fisso S colla stessa situazione dell'occhio: l'angolo, di cui si è dovuto far ruotare il prisma per condurlo in questa seconda posizione, è il supplemento dell'*abc* che si vuole misurare. Infatti, affinchè la superficie *bc* prenda la posizione della *ab*, bisogna che il prisma ruoti dall'angolo $cbd + 90°$, che è appunto il supplemento di *abc*. Su questo principio è costrutto il gonimetro a riflessione imaginato da Wollaston, che è il più semplice e il più usitato per misurare gli angoli diedri dei cristalli.

Esso si compone di un cerchio d'ottone graduato sul suo orlo e mobile attorno ad un asse orizzontale AA, il quale è portato dal sostegno verticale PCP (fig. 27). Quest'asse riceve a sfregamento dentro di sè un altro asse concentrico *aa*, che da un'estremità è alquanto

sporgente e porta un pezzo incurvato *abd*, cui è applicato in una cavità un cilindretto girevole, disposto sul prolungamento dell'asse *aa* e munito di due pezzi rettangolari sui quali si assicura con cera molle il cristallo, delle cui facce si desidera misurare l'angolo diedro. Connesso col piede PCP vi ha una verghetta che sostiene un disco nero con un foro nel centro, dove applicato l'occhio si vede il cristallo collocato sul pezzo rettangolare.

Per far uso dello stumento, bisogna scegliere qualche edifizio che presenti alcune linee orizzontali parallele fra loro. Allora si colloca esso colla sua base sopra un piano orizzontale in maniera che il cerchio, essendo verticale, riesca perpendicolare o quasi perpendicolare alle linee mentovate, che devono servire di scopo. Applicando l'occhio vicino al cristallo, si rivolge l'asse interno sinchè una delle linee superiori dell'edifizio sia veduta per riflessione sopra una delle facce del cristallo, e col mezzo del cilindretto mobile si fa girare il cristallo stesso in modo che l'imagine riflessa coincida con una delle linee veduta direttamente. Si fa prova della stessa coincidenza osservando sull'altra faccia di cui si vuole misurare l'angolo diedro colla prima, a cui si perviene con qualche tentativo. Allorquando questa coincidenza si può ottenere successivamente sulle due facce senza cangiare posto all'occhio, si è certo che l'intersezione delle due superficie è orizzontale e parallela all'asse di rotazione.

Ottenuta questa condizione, si faccia girare l'asse in modo che coll'occhio, applicato al foro del disco, si veda per riflessione una di quelle linee, e partendo da questa posizione si rivolga il cerchio graduato sinchè si veda la stessa linea per riflessione sull'altra faccia del cristallo. L'arco descritto dal cerchio in questo rivolgimento è misurato dalla divisione segnata sul lembo del cerchio, ed è eguale al supplemento dell'angolo diedro delle due facce. Anzi, per risparmiare una sottrazione, l'istrumento è graduato in maniera che si legge sul cerchio a dirittura l'angolo diedro del cristallo.

759. Il *portaluce* consiste in uno specchio congegnato in modo particolare e destinato ad introdurre nella camera nera, in una direzione comoda e conveniente, un fascio luminoso, per fare sul medesimo le osservazioni ed istituire le sperienze intorno ai fenomeni ed alle leggi dell'ottica. L'apparecchio è composto d'un corto tubo AB adattato ad una lastra rotonda o quadrangolare CD, che si attacca ad un'apertura fatta nell'imposta della finestra della camera nera (fig. 28). Un robusto anello circolare EF riceve a sfregamento dentro il suo vano l'estremità esterna del tubo, e può girare intorno di esso mediante un

rocchetto, i cui denti imboccano con quelli della periferia dell'anello medesimo. Con tale ordigno l'osservatore, stando nella camera nera, può far descrivere all'anello degli archi di cerchio più o meno grandi per l'uso che vedremo. Due verghe metalliche V, V, saldamente assicurate per un'estremità all'anello, portano sull'altra l'asse d'uno specchio piano PQ di forma rettangolare od elittica. L'asse dello specchio è fornito della ruota R, i cui denti imboccano colle spire di una vite $xy$ applicata alla lastra dell'apparecchio; in maniera che col girare questa vite si può far ruotare l'asse e dare allo specchio differenti inclinazioni.

È col mezzo di quest'apparecchio che si introducono pel tubo i raggi solari nella camera nera (§. 748). A tal fine si fa girare l'anello e la vite, e si presenta lo specchio al sole, che splende, più o meno inclinato all'orizzonte, e i cui raggi riflessi dallo specchio sono diretti nel tubo per dove entrano nello spazio oscuro destinato alle osservazioni ed alle sperienze sulla luce. Spesso necessita di limitare il fascino luminoso da introdursi nella camera nera; a tal fine all'apertura interna del tubo si applica a vite un coperchio munito di differenti fori; per uno o per parecchi di questi ad un tempo si lasciano entrare nella camera i raggi solari.

760. Nella maggior parte delle dimostrazioni basta il descritto apparecchio per aver la luce nella camera nera, ma nelle indagini della scienza ed in alcuni casi anche per la scuola importa che il fascio luminoso introdotto conservi una posizione fissa e non sia soggetto al movimento continuo e progressivo in causa del giro del sole sul nostro orizzonte. Soddisfa a tale scopo *l'eliostata*, il quale è un portaluce il cui specchio, mediante un ordigno d'orologio, riceve un movimento uniforme a quello del sole, ed obbliga per tal modo i raggi luminosi riflessi dallo specchio a conservare una posizione invariabile. Gravesande ha imaginato pel primo l'eliostata, ma il suo apparecchio, a giudizio anche di distinti fisici ed ottici, è alquanto complicato ed è altresì di troppo caro prezzo, d'altronde non può con facilità da qualunque artefice essere costrutto. Quello di Prandi soddisfa egualmente ai bisogni della scienza, ed è di tale semplicità che può essere costrutto da qualunque diligente mecanico, per cui, anche secondo il chiarissimo astronomo prof. Santini ed altri dotti, è preferibile a quello di Gravesande (1).

(1) Ultimamente è stato imaginato un altro eliostata da Silbermann, che trovasi descritto nell'opuscolo: *Notice sur l'héliostat*, Paris 1843.

Allo scopo di comprendere la costruzione dell'eliostata di Prandi (1), rappresentiamo con AB una retta parallela all'asse del nostro globo, la quale a guisa d'un cilindro compia mediante un movimento d'orologeria un'intera rivoluzione intorno a se medesima da oriente in occidente (fig. 29), ed indichiamo altresì con RB i raggi solari incidenti. Rappresenti inoltre SP la sezione centrale d'uno specchio metallico, il quale, unito con mastietatura ad AB, abbia connesso nel suo rovescio l'appendice o coda BC sul prolungamento della retta che perpendicolarmente passa pel suo centro. Allorchè quest'appendice divide per metà l'angolo ABE, che misura la distanza del sole dal nostro polo nel mezzodì di ciascun giorno, lo specchio rifletterà il raggio RB secondo B*r* sul prolungamento di AB. Siccome poi il piano ABE, in virtù della rotazione di AB, si mantiene costantemente parallelo ai raggi incidenti; così i raggi riflessi rimarranno immobili lungo la B*r*.

Per avere questo raggio in qualsiasi altra direzione, Prandi ha collocato lo specchio, colla sua appendice abbastanza allungata, sopra un sostegno a parte, dove è mobile intorno a due assi; l'uno dei quali è un suo diametro o una sua diagonale, mentre l'altro passa pel suo centro, è perpendicolare al primo e passa per un piano che può inclinarsi comunque e far prendere in tal modo allo specchio qualunque posizione, rimanendo fermo il suo centro. Un'asta BE, mobile intorno al punto B nel piano della figura, sia posta parallela ai raggi incidenti RB, cioè misuri sull'arco graduato YX il complemento dell'angolo di declinazione del sole; ed eguagli in lunghezza la distanza del centro B' dello specchio, nella sua nuova posizione, dal punto B. Quest'asta tragga seco ne' suoi movimenti l'appendice B'C' dello specchio S'P': riuscirà allora il raggio riflesso costantemente nel prolungamento di BB' verso *r'*. Infatti la perpendicolare BQ alla base B'E del triangolo isoscele B'BE divide in parti eguali l'angolo al vertice B'BE, per cui la S'P', perpendicolare alla stessa base, dividerà egualmente per metà l'angolo R'B'B interno opposto all'EBB', delle parallele RE, R'B'. Donde si ricava che, per verificarsi la legge dell'eguaglianza dell'angolo di riflessione S'B'*r'* ed incidenza R'B'P', bisognerà che la linea *r'*B' sia per diritto o un prolungamento della BB'.

Per mostrare il modo con cui Prandi ha applicato questi principii alla costruzione del suo eliostata, esaminiamolo nella fig. 30, che ne

(1) Esso è circostanziatamente descritto nella *Nuova Collezione di opuscoli scientifici*. Bologna 1825, fascicolo VI, pag. 244.

rappresenta la prospettiva. Esso ha un basamento di forma triangolare equilatera XGK, che si livella mediante tre piedi a vite posti agli angoli, ed ogni lato del quale ha la lunghezza di circa 6 decimetri. La superficie è divisa per mezzo dalla linea GI, che si colloca secondo la meridiana del luogo d'osservazione coll'estremità G rivolta verso il sud. Ad una piccola distanza dal punto G s'innalza la colonnetta quadrangolare OV perpendicolarmente alla base, per cui, trovandosi col suo mezzo nella linea GI, ha il suo asse che cade precisamente sulla meridiana. La colonnetta termina superiormente nella calotta sferica U, che riceve esattamente dentro di sè la palla B rappresentante il globo terracqueo. La retta AB è sul prolungamento dell'asse di rotazione della sferetta, il quale deve essere parallelo a quello della nostra terra; per cui si appoggia colla sua estremità A sull'arco graduato FH, che attraversa la colonnetta OV e può dolcemente scorrervi dentro la cavità. Per tal modo l'angolo fatto da AB colla verticale condotta pel centro della sferetta B indicherà il complemento dell'altezza del polo, il qual angolo si misura con precisione mediante il nonio V. Acciò che l'asse AB possa prestarsi alle diverse altezze di polo, conviene che la cavità fatta nella calotta sferica, dove esso s'insinua e penetra fino al centro B, sia oblunga nel verso verticale. È a quest'asse che si adatta l'orologio per imprimergli un moto di rivoluzione secondo quello apparente del sole. Il settore BXY è fissato stabilmente alla sferetta, e la sua graduazione è sostituita a quella dell'arco XY della figura 29. Il raggio che lo divide per mezzo, deve essere perpendicolare ad AB (fig. 30), ed il punto cui corrisponde nell'arco XY è lo zero della graduazione, la quale serve alla misura della declinazione del sole. L'asta LBE, mobile intorno al punto B, facendo col raggio anzidetto un angolo eguale a questa declinazione, riesce parallela ai raggi solari. Per misurare con esattezza quest'angolo è opportuno un nonio inciso all'estremità L. All'altra estremità E è fissato un congegno consistente nella verghetta $xyz$ parallela all'asta stessa BE e mobile intorno al suo asse, il quale prolungato passerebbe pel centro B. Questa verghetta dalla parte $yz$ si divide in due rami eguali formanti assieme un semicircolo, il diametro del quale, perpendicolare all'asse della verghetta medesima, è pure diametro ed asse di rivoluzione di un anello abbracciato da esso semicircolo: il diametro del vano dell'anello è tale che questo viene esattamente infilato dall'appendice cilindrica B′C′ già perpendicolare alla superficie dello specchio S′P′D. In tal maniera, ruotando l'asse AB, il centro dell'anello descrive un circolo e la sua su-

perficie resta sempre perpendicolare all'appendice B'C'. Si rammenti essere condizione essenziale che BB' eguagli esattamente la distanza di B dal centro dell'anello sudescritto. Lo specchio obbedisce ai movimenti, cui lo strascinano l'appendice B'C', la quale ne occupa stabilmente l'asse o la retta che passa perpendicolarmente pel suo centro. Esso è sospeso per un suo diametro agli estremi DD della verga biforcata semicircolare DCD, la quale termina nella verga CF perpendicolare sul mezzo alla traversa N' e ruotante su se stessa. La verga CF è pure sostenuta dal braccio fisso all'altra traversa N. In tal modo lo specchio concepisce due movimenti l'uno di rivoluzione colla verga biforcata DDCF, l'altro di rotazione intorno al diametro DD, senza che cambi posto il suo centro, con cui resta adempita la condizione su espressa, essendo la superficie rivolta ovunque e restando fermo il suo centro, che rimane sempre distante dal punto B.

Nel modo spiegato si ottiene una direzione costante nel raggio riflesso per una determinata posizione della linea BB', la quale è invariabile una volta che sia stata scelta. Affine di cambiare questa posizione secondo più aggrada e quindi anche quella costante del raggio riflesso, Prandi ha imaginato, senza scomporre la machina, il modo di cambiare posto allo specchio tenendo sempre fissa ed eguale a Bz la distanza BB' ossia di trasportare il centro B' dello specchio sopra i punti d'una superficie sferica, il cui centro è B. Infatti in quest'eliostata il centro B' può descrivere dei circoli in piani verticali, che passano per esso e per B ed altri circoli in piani orizzontali aventi tutti per raggio la linea BB'. Imperocchè i lati M, M del telaio MNMN' scorrono in due canali circolari incavati nelle facce interne ed opposte dei due archi solidi RP,RP. I piani, che passano pel fondo di questi canali, sono verticali e paralleli al piano verticale condotto per la linea BB' ed equidistanti da esso; talchè i due canali sono fatti secondo la curvatura di due paralleli egualmente distanti dal centro B della sfera che passa pei due archi RP,RP. I due corsoi rimangono dentro i rispettivi canali scavati a coda di rondine e vi si adattano egualmente conformati. Quei due archi solidi sono sostenuti dalle colonnette S, S, che s'elevano perpendicolarmente all'arco *tt*, il quale può girare nel piano della base sopra l'arco TT, per essere collegato ai due regoli *to*, *to*, che insieme concorrono nel punto o estremo dell'asse della colonnetta OV e centro di rotazione d'un tal movimento. Il punto *o* è nell'asse d'una vite, che serve a mantenere fissa la colonnetta OV. In tal guisa il centro B', che pel precedente

mecanismo è capace d'un moto circolare in piani verticali, per questo può moversi pure circolarmente in piani orizzontali.

761. Gli specchi curvi sono come si disse (§. 756), concavi o convessi. Essi possono essere formati di diversa specie di curve, e perciò si danno gli *specchi sferici*, *elittici*, *cilindrici*, *conici*, *parabolici ecc.* Negli strumenti ottici si usano d'ordinario gli specchi sferici, per la facilità con cui si possono lavorare e pulire, e dar loro la conveniente curvatura; e perciò ci occuperemo di questa specie di specchi, i quali consistono in calotte di sfera di diametro più o meno grande di cui si lavora la superficie interna o quella esterna secondo che si vogliano degli specchi concavi o convessi.

Sia AB la sezione d'uno specchio concavo appartenente alla sfera, il cui centro è C (fig. 31) : si conduca per questo punto C sul mezzo O dello specchio, la retta DO, che, per essere il prolungamento del raggio della sfera, riesce perpendicolare allo specchio medesimo. Il punto di mezzo O chiamasi *centro ottico*, l'altro C *centro geometrico* o di *sfericità* o di *curvatura*, e la retta DO *asse* dello specchio. Congiungendo con una retta, che passa per l'asse, due punti A, B, della periferia dello specchio, si ha la distanza AB che chiamasi *diametro dello specchio*, il quale non si deve confondere col diametro della sfera, cui il medesimo appartiene, avendosi in questo caso il *diametro* è il *raggio geometrico dello specchio.* Siccome la calotta sferica può comprendere un numero più o meno grande di gradi del cerchio massimo; così l'angolo ACB, formato dalle due rette AC, BC condotte dall'estremità del diametro dello specchio al centro geometrico C, chiamasi *apertura dello specchio.*

Negli specchi convessi hanno luogo eguali denominazioni. Essendo AB la sezione d'uno di questi specchi appartenente alla sfera il cui centro è posto in C (fig. 32), si conduca egualmente la retta DO sul punto di mezzo O dello specchio e pel centro C della sfera cui esso appartiene: si ha in O il *centro ottico* dello specchio convesso, in C il *centro geometrico*, mentre DO ne è l'*asse.* La retta poi congiungente due punti estremi A, B condotta per l'asse è il *diametro* dello specchio, essendone l'angolo ACB l'*apertura.*

Per applicare la legge della riflessione agli specchi curvi, si valutano gli angoli d'incidenza e di riflessione dal piano tangente a ciascun punto dello specchio. Nè la cosa è altrimenti, in causa dell'estrema piccolezza degli atomi dell'etere luminoso; per cui, relativamente ai medesimi, si può concepire la superficie curva dello specchio formato da un numero grandissimo di punti o piccolissimi piani fra loro incli-

nati. Siccome poi il raggio, condotto dal centro della sfera ad un punto della sua superficie, riesce a questa perpendicolare in quel punto o al piano tangente nel medesimo; così non è necessario di condurre i piani tangenti per giudicare degli angoli d'incidenza e di riflessione, avendosi nei raggi la normale o il cateto da cui si contano gli angoli medesimi (§. 754). Nello specchio concavo AB (fig. 31), essendo C*e*, C*h* i raggi della sfera corrispondenti ed inoltre *fe*,*gh* due fasci luminosi incidenti, questi sono riflessi secondo *e*F,*h*F facendo gli angoli F*e*C,F*h*C eguali rispettivamente a quelli d'incidenza *fe*C,*gh*C. Parimenti nello specchio convesso AB (fig. 32), gli angoli d'incidenza *fep*,*ghq* riescono eguali a quelli di riflessione *rep*,*shq* riferiti alle normali *pe*,*qh* nei punti *e*,*h*, le quali sono i prolungamenti dei raggi di curvatura C*e*,C*h* condotti dal centro C della sfera, cui lo specchio appartiene. In ambidue quegli specchi (fig. 31 e 32) il raggio incidente secondo l'asse DO sarà riflesso nella direzione medesima OD, per essere esso perpendicolare alla superficie dello specchio nel punto O.

762. Esponendo al sole lo specchio concavo AB in modo che col suo asse OD sia rivolto verso il centro di quell'astro (fig. 31), i raggi solari, come *fe*,*gh*, riescono paralleli all'asse e, riflettendosi sullo specchio, vengono ad intersecarsi in un piccolo spazio F, dove si concentrano e generano una piccolissima e vivissima imagine del sole: e quando essi siano anche caloriferi, come è il caso dei solari, sono capaci di abbruciare e infiammare corpi combustibili p. e. un pezzo d'esca, di carta, di legno. Il piccolo spazio o punto F prende per ciò il nome di *fuoco dello specchio*, ed è all'appoggio di tale proprietà che si sono costrutti gli *specchi ustori* o *ardenti*. L'intervallo poi dal punto F al centro ottico O dicesi *distanza focale*.

Presentando nell' egual modo al sole lo specchio convesso AB (fig. 32), non si forma innanzi alla sua superficie veruna concentrazione nè di luce nè di calore, anzi si trova che nella riflessione si è molto indebolita e sembra all'occhio, collocato davanti allo specchio, che provenga da un piccolo spazio F posto di dietro, comparendo come una piccola imagine del sole somigliante a quella reale dello specchio concavo. Un tale spazio o punto luminoso apparente chiamasi negli specchi convessi *fuoco*, il quale, a differenza del precedente, è *imaginario* o *virtuale*. L'intervallo OF prende egualmente il nome di *distanza focale*.

Nello specchio concavo (fig. 31) gli angoli C*ef*, C*e*F d'incidenza e di riflessione riescono eguali, e pel parallelismo dei raggi solari in-

cidenti *fe*, DO riescono pure eguali gli angoli alterni *Cef*, *OCe* per cui sarà l'angolo C*e*F = OC*e* ed isoscele il triangolo *e*FC, dove il lato *e*F = CF. Quando lo specchio sia una calotta sferica di pochi gradi d'apertura, riuscirà senza errore sensibile anche *e*F = OF, e quindi CF = OF. *Il fuoco* F *dunque dei raggi paralleli è posto sulla metà del raggio di curvatura* CO; *cioè la distanza focale* FO *eguaglia la metà del raggio di curvatura* o la quarta parte del diametro.

Nello specchio convesso AB (fig. 32) si dimostra in un modo consimile essere isoscele il triangolo *e*FC e quindi, nel caso superiormente riferito, potendosi prendere *e*F = OF *sarà pure il fuoco virtuale* F *situato sulla metà del raggio di curvatura* CO *e la distanza focale* OF *eguale alla metà di questo raggio.*

Allorquando lo specchio avesse una curvatura parabolica, la distanza focale eguaglierebbe in ambidue i casi la quarta parte del parametro, o di quella retta che, condotta pel fuoco perpendicolarmente all'asse, termina coll'incontro dei due rami della curva. È proprietà della parabola di riunire per riflessione tutti i raggi paralleli all'asse nel fuoco della curva, che sarebbe anche quello dello specchio parabolico. Gli specchi sferici si accostano a quelli parabolici, quand'essi hanno un'apertura non molto grande, cioè di 20 in 24 gradi al più, perchè in questo caso gli archi di circolo vengono sensibilmente quasi a confondersi con quelli della parabola corrispondente. Quando lo specchio sferico ha un'apertura molto grande, i raggi, che ad una certa distanza dall'asse cadono sullo specchio vicino al centro ottico, si riuniscono nel fuoco; mentre quelli, che lo incontrano a distanze maggiori dal centro ottico medesimo, sono riflessi segando l'asse in punti situati fuori del fuoco, e in questo caso la riunione dei raggi luminosi non occupa uno spazio così piccolo da poter essere considerato come un punto, ma si estende all'intorno della metà FO del raggio di curvatura dello specchio (fig. 31 e 32).

Il punto di riunione dei raggi paralleli si chiama *fuoco principale*, e se ne conosce la posizione o la distanza totale quando è dato il raggio di curvatura e viceversa. Spesso però non si conosce nè l'uno nè l'altro, ed allora per determinare la distanza focale si procede nella maniera seguente: lo specchio concavo *ab*, sostenuto dal piede P, si dispone coll'asse *od* diretto verso il centro solare (fig. 33) e si applica sopra un regolo MN diviso in centimetri e millimetri e parallelo all'asse. Con uno stretto scrimaglio posto sul piede A e tenuto perpendicolare al regolo MN, si cerca il minimo punto luminoso *f*: la linea *of*, di cui si può avere tosto la misura sulle divisioni del regolo,

è la distanza focale richiesta. Collo specchio convesso si procede egualmente nella disposizione dello specchio e del regolo MN (fig. 34). Siccome in questa specie di specchi non si ha la striscia luminosa, dove si riuniscono realmente i raggi riflessi, avendo essi soltanto un fuoco virtuale $f$; così bisogna coprire lo specchio d'una carta o d'un pannolino nero lasciando a nudo due punti $m,n$ posti sullo stesso diametro ed egualmente distanti dal centro ottico $o$, e poscia portare lo scrimaglio a tale distanza dallo specchio che i due raggi riflessi $mg,nh$ vengano a determinare sullo scrimaglio medesimo l'intervallo $gh$ doppio della distanza $mn$. La distanza $oe$ della superficie dello scrimaglio dallo specchio è eguale alla distanza focale virtuale $of$. Infatti, per la similitudine dei triangoli $feh$, $fon$, risulta la retta $of$ la metà di $ef$, per cui sarà $oe$ eguale alla distanza focale $of$.

763. Sinora si sono considerati i raggi luminosi paralleli all'asse dello specchio, i quali nel concavo sono riflessi convergenti in un punto detto *fuoco principale* e in quello convesso i raggi medesimi sono riflessi divergenti, in modo che, supponendoli prolungati al di là dello specchio, s'incontrerebbero in un punto detto *fuoco virtuale principale*. In generale negli specchi concavi i raggi luminosi paralleli sono riflessi convergenti e in quelli convessi divergenti; ed è per ciò che i primi si chiamano anche *specchi di convergenza* o *convergenti*, ed i secondi *specchi di divergenza* o *divergenti*. Ora dobbiamo occuparci dell'andamento in generale dei raggi luminosi riflessi dagli specchi sferici.

Per comprendere facilmente tutti i casi che presentano gli specchi, importa di trovare una relazione fra il raggio di curvatura, la distanza del punto irradiante dallo specchio e la distanza focale. Sia $ab$ uno specchio concavo o convesso (fig. 35 e 36), $c$ il suo centro di curvatura, $s$ un punto irradiante posto sull'asse, $g$ il punto d'incontro o fuoco dei raggi riflessi, talchè nello specchio concavo sarà l'angolo $sac = gac$ e nel convesso $sac'$ $g'ac'$.

Pei gli specchi concavi (fig. 35), il triangolo $sag$, avendo un suo angolo diviso per metà dalla retta $ac$, somministra secondo la geometria la proporzione: $cs : as :: cg : ag$. Ora, chiamando con $r$ il raggio di curvatura $co$ in ambidue gli specchi (fig. 35 e 36), con $d$ la distanza $so$ del punto irradiante $s$ dallo specchio, e con $f$ la distanza focale $og$, si ha per gli specchi concavi $cs = so - co$ ossia $cs = d - r$; per la poca divergenza dei raggi luminosi dall'asse può prendersi $as = so = d$; $cg = co - og = r - f$; come pure $ag = og = f$. Sostituendo questi valori e queste denominazioni nella proporzione su-

periore, si ha: $d - r : d :: r - f : f$. da cui si deduce $f = \frac{dr}{2d - r}$

Per gli specchi convessi starà

$cs : as :: sen.\ cas : sen.\ sca :: sen.\ c'as : sen.\ sca$;

ossia $cs : as :: sen.\ cag : sen.\ sca$. Ma dal triangolo $cag$ si ha pure $cg : ag :: sen.\ cag : sen.\ sca$, quindi sarà $cs : as :: cg : ag$. Ritetenendo le denominazioni adottate per gli specchi concavi, sarà $cs = os + co = d + r$; per la poca divergenza dei raggi luminosi dall'asse, si può prendere $as = so = d$; $cg = co - og = r - f$; come pure $ag = og = f$. Sostituendo questi valori e queste denominazioni nella precedente proporzione, si ha: $d + r : d :: r - f : f$, da cui si ricava $f = \frac{dr}{2d + r}$.

Negli specchi concavi il valore di $f$ può essere positivo o negativo e il punto d'incontro dei raggi o il fuoco può trovarsi al di qua o al di là dello specchio. Nel primo caso il fuoco è reale, nell'altro è imaginario, essendo allora $d < \frac{1}{2} r$, cioè la distanza del punto irradiante dallo specchio minore della metà del raggio di curvatura, ossia il punto medesimo deve essere situato fra il centro ottico e il fuoco principale dei raggi paralleli. Per gli specchi convessi, $f$ è sempre positivo e perciò il punto dei raggi riflessi o il fuoco di questi cade sempre dalla parte del raggio di curvatura, cioè al di là dello specchio e quindi sempre imaginario. Per meglio riconoscere l'andamento dei raggi riflessi nelle due specie di specchi, consideriamo le diverse distanze $d$ dal punto irradiante dello specchio nelle due equazioni $f = \frac{dr}{2d - r}$ $f = \frac{dr}{2d + r}$, e si avranno nei diversi casi i valori esposti nel seguente quadro:

| *Distanza del punto irradiante* | *Distanza focale negli specchi concavi* | *Distanza focale negli specchi convessi* |
|---|---|---|
| $d = \infty$, | $f = \frac{\infty r}{2\infty} = \frac{r}{2}$, | $f = \frac{\infty r}{2\infty} = \frac{r}{2}$. |
| $d = 100r$, | $f = \frac{100r^2}{200r - r} = \frac{r}{2} + \frac{1}{398} r$, | $f = \frac{100r^2}{200r + r} = \frac{r}{2} - \frac{1}{402} r$. |
| $d = 2r$, | $f = \frac{2r^2}{4r - r} = \frac{r}{2} + \frac{1}{6} r$, | $f = \frac{2r^2}{4r + r} = \frac{r}{2} - \frac{1}{10} r$. |

| *Distanza del punto irradiante* | *Distanza focale negli specchi concavi* | *Distanza focale negli specchi convessi* |
|---|---|---|
| $d = r,$ | $f = \frac{r^2}{2r - r} = r,$ | $f = \frac{r^2}{2r + r} = \frac{r}{2} - \frac{1}{6} r.$ |
| $d = \frac{1}{2} r,$ | $f = \frac{\frac{1}{2} r^2}{r - r} = \infty,$ | $f = \frac{\frac{1}{2} r^2}{r + r} = \frac{r}{2} - \frac{1}{4} r.$ |
| $d = \frac{1}{3} r,$ | $f = \frac{\frac{1}{3} r^2}{\frac{2}{3} r - r} = - r,$ | $f = \frac{r}{2} - \frac{3}{10} r.$ |

Da ciò si apprende che: 1° quando il punto irradiante è ad una distanza infinita, ossia quando i raggi sono paralleli, il fuoco principale in ambedue le specie di specchi cade sulla metà del raggio di curvatura, come si è altrove notato (§. 762); 2° a misura che il punto irradiante si avvicina allo specchio concavo, il fuoco o il punto di riunione dei raggi riflessi si discosta dal medesimo, rimanendo però tra il fuoco principale e il centro geometrico sinchè la distanza del punto irradiante è maggiore del raggio di curvatura; 3° quando il punto irradiante è collocato nel centro geometrico, il fuoco coincide con esso; 4° a misura ch'esso si avvicina allo specchio concavo, il fuoco si allontana rapidamente da esso; 5° quando il punto irradiante giunge ad occupare il fuoco principale, i raggi sono riflessi parallelamente fra loro; 6° posto esso fra il fuoco principale e il centro ottico, i raggi vengono riflessi divergenti e il punto di riscontro dei medesimi è virtuale; 7° nello specchio convesso i raggi riflessi divengono sempre più divergenti, e il loro fuoco virtuale si accosta maggiormente allo specchio a misura che vi si avvicina il punto irradiante.

Siccome nello specchio concavo, essendo in $s$ il punto irradiante (fig. 35), il fuoco dei raggi riflessi risulta in $g$, ed all'inverso il punto irradiante essendo in $g$ il fuoco cade in $s$; così i due punti $s$, $g$ si chiamano l'uno per rispetto all'altro *punti coniugati* dello specchio. Nello specchio concavo essi risultano due punti reali, l'uno illuminante e l'altro lucido. Nello specchio convesso il punto irradiante $s$ e quello virtuale $g$ si sogliono appellare per analogia pure *punti coniugati* (fig. 36).

In quanto ai raggi convergenti, è chiaro che dagli specchi concavi essi saranno riflessi con maggiore convergenza, e dai convessi ne

verrà diminuita nella riflessione la convergenza e ben anche resi paralleli e divergenti. Si può prendere un'idea più compiuta dell'andamento dei raggi riflessi in tal caso dalle due specie di specchi, modificando le formole per adattarle alla nuova condizione. Siano parecchi raggi $pm$, $so$, $qn$, convergenti verso lo specchio concavo $ab$, che prolungati al di là del medesimo vadano a riunirsi in $v$ (fig. 37): facendo l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione, essi vengono riflessi in $f$ e si possono considerare che abbiano origine al punto irradiante in $v$, prendendo la distanza focale $ov=d$ negativa. Per tal modo, nella formola $f=\frac{dr}{2d-r}$ per gli specchi concavi, basta cambiare il segno alla quantità $d$, con cui essa diventa $f=\frac{-dr}{-2d-r}=\frac{dr}{2d+r}$. Dalla quale si apprende che $f$ è sempre positivo e quindi il fuoco in ogni caso è reale, il quale riesce meno distante dallo specchio di quando i raggi sono divergenti, per essere $\frac{dr}{2d+r}$ minore di $\frac{dr}{2d-r}$. Facendo la modificazione analoga nella formola $f=\frac{dr}{2d+r}$ per gli specchi convessi, si ha $f=\frac{-dr}{-2d+r}=\frac{dr}{2d-r}$, donde s'impara che il valore di $f$ può essere positivo, negativo ed infinito, e che quindi i raggi convergenti possono essere riflessi dagli specchi convessi ancor convergenti, oppure divergenti o paralleli.

Applicando all'*apparato per la riflessione* (fig. 23) uno specchio concavo od uno convesso si dimostra coll'esperienza, nella stessa maniera degli specchi piani (§. 757), che *dal primo i raggi paralleli sono riflessi convergenti, e dal secondo specchio divergenti.*

764. Le equazioni $f=\frac{dr}{2d-r}$, $f=\frac{dr}{2d+r}$ per gli specchi concavi e convessi si possono mettere sotto altra forma. Moltiplicando pel denominatore e poscia dividendo tutto per $dfr$ risulta $\frac{2}{r}-\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$, $\frac{2}{r}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$. Se i raggi incidenti sono paralleli, allora il raggio $r$ eguaglia il doppio della distanza focale principale, che diremo $p$, e perciò si hanno i rapporti: $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}-\frac{1}{d}$, $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{d}$. Da ciò si apprende che *la distanza, cui s'incontrano i raggi luminosi riflessi, diminuisce*

*od aumenta secondo che lo specchio concavo è di minore o maggiore distanza focale principale e secondo che vi si avvicina o se ne discosta il punto irradiante*; inoltre che *il punto virtuale di riunione dei raggi riflessi risulta più o meno distante dallo specchio convesso secondo che questo è di maggior o minor distanza focale principale e se ne allontana o si avvicina il punto luminoso.*

L'equazione $f=\frac{dr}{2d-r}$ degli specchi curvi si applica agli specchi piani; in tal caso è $r=\infty$ potendosi un piano considerare come una superficie sferica di raggio infinitamente grande. Sostituendo si ha $f=\frac{d\infty}{-\infty}=-d$: donde si apprende che i raggi divergenti d'un punto luminoso sono riflessi divergenti in modo come se provenissero da un punto virtuale posto di dietro allo specchio ad una distanza eguale a quella cui si trova il punto reale, vale a dire che sono riflessi collo stesso grado di divergenza. Se i raggi incidenti sono paralleli, allora è anche $d=\infty$, e si ha $f=\frac{\infty\,.\,\infty}{2\infty-\infty}=\infty$; da cui si deduce che i raggi sono riflessi egualmente paralleli. Infine se i raggi sono convergenti, allora $d$ diventa negativo, e dall'equazione superiore si ha $f=\frac{-d\infty}{-\infty}=d$; dove vedesi che i raggi riflessi si riuniscono avanti allo specchio alla stessa distanza, cui di dietro allo specchio si suppone il punto virtuale dove andrebbero a riunirsi i raggi incidenti, e perciò sono riflessi collo stesso grado di convergenza. Tutte queste deduzioni si accordano con quanto si è altrove dimostrato per gli specchi piani (§. 757).

765. Allorchè il punto da cui partono i raggi luminosi, è posto in R fuori dell'asse SO dello specchio AB (fig. 38), allora si conduce da R, pel centro di curvatura C, la retta RD, la quale si potrà riguardare come asse dello specchio relativamente ai raggi, che hanno origine nel punto R, e che perciò si chiama *asse secondario* dello specchio medesimo. I raggi del punto R nell'essere riflessi seguiranno per rapporto all'asse secondario le stesse leggi dei raggi inviati dal punto S riguardo all'asse primario SO. I raggi luminosi quindi del punto R si riuniranno nella riflessione in qualche sito del raggio di curvatura CD e più o meno distante dallo specchio secondo la distanza meno o più grande del punto irradiante medesimo. Vedasi quindi nella figura 39 che il punto irradiante R invia dei raggi luminosi sullo specchio AB i quali per riflessione si concentrano in F posto sull'asse se-

condario RFO, ed il punto R′ i cui raggi hanno il sito di riunione in F′ posto sull'asse secondario R′ F′ O′.

Se dunque l'origine luminosa si compone di una serie di punti irradianti costituenti una linea che passa per l'asse principale SD (fig. 39), allora sopra ciascuno degli assi secondari appartenenti a quei punti si formeranno altrettanti fuochi, l'unione dei quali costituirà l'imagine di quella linea. Lo stesso si dica d'una serie di punti costituenti una superficie luminosa, che formerà per riflessione l'imagine della superficie medesima. Negli specchi convessi avranno luogo somiglianti imagini, le quali riusciranno sempre virtuali; mentre in quelli concavi esse diventeranno virtuali soltanto nel caso che i punti luminosi siano collocati tra il centro ottico e il fuoco principale (§. 763). La figura 40 rappresenta l'andamento dei raggi paralleli fra loro ed obliqui all'asse principale, i quali si riuniscono nel punto F dell'asse secondario RCO condotto pel centro C di curvatura parallelo ai raggi medesimi.

766. I raggi luminosi che partono da un punto e cadono sopra una superficie curva sono in pochi casi così riflessi da concentrarsi in un unico sito; ma ben sovente due raggi vicini s'intersecano, e i due contigui s'intersecano del pari e così dei seguenti da formare una serie di punti luminosi, la quale prende il nome di *linea caustica per riflessione* o *catacaustica*. Se la superficie è tale da produrre per riflessione diverse serie contigue di punti luminosi, allora si ha la *superficie catacaustica*. Le linee catacaustiche si osservano facilmente se la luce cade sull'interna superficie ben pulita di un cilindro cavo, apparendo sul fondo di esso una linea lucida, la cui forma differisce secondo la posizione del punto luminoso.

La determinazione della forma delle caustiche costituisce un problema, che ha esercitato la sagacità di pareecchi distinti geometri. Per dare un'idea di questa determinazione, sia L un punto irradiante posto sulla periferia di un circolo il cui centro è C (fig. 41); siano inoltre L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 i raggi incidenti, mentre C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 rappresentano le normali, ed i raggi riflessi risultano 1*a*, 2*b*, 3*c*, 4*d*, 5*e* 6*f*, 7*g*, 8*h*. Il punto d'intersezione *a* del primo col seguente raggio riflesso, quello *b* di questo col contiguo, e così consecutivamente gli altri punti d'intersezione *c*, *d*, *e*, *f*, *g* segnano l'andamento della catacaustica. I punti d'incidenza 1, 2, 3, 4, ecc. venendo presi consecutivamente l'uno in seguito all'altro, si formerà per riflessione un numero indefinito di punti luminosi i quali costituiranno la linea catacaustica continua.

Dove parecchi raggi consecutivi riflessi s'intersecano si ha una maggior intensità di luce riflessa, e la linea catacaustica, formata da queste intersezioni, riesce nelle sue parti differentemente illuminata. Infatti la luce incidente sull'arco 1. 3 si raduna quasi tutta nello spazio *ab*, quella incidente sull'arco 2. 3 nello spazio *bc*, l'altra sull'arco 3. 4 nello spazio *cd*, e quella degli archi 4. 6, 5. 7, 6. 8, negli spazi *de*, *ef*, *fg*. Ora se gli archi 1. 3, 2. 4, 3. 5, 4. 6, 5. 7, 6. 8 sono eguali, l'intensità della luce in *ef* sarà tanto più grande in confronto di quella in *ab* quanto più piccolo è *ef* in confronto di *ab*, ossia l'intensità della luce è sulla catacaustica in ragione inversa dalla lunghezza degli archi, quando questa lunghezza sia determinata in modo che corrisponda ad archi eguali della curva che riflette i raggi luminosi.

Quando la riflessione succede sopra linee o superficie convesse, nello stesso modo che per esse si ha il fuoco e l'imagine virtuale, hanno luogo le *catacaustiche virtuali*, le quali sono linee o spazi dove concorrono i raggi divergenti riflessi da quelle curve. Da quanto si è detto apprendesi che non bisogna dare molt'apertura agli specchi sferici; giacchè i raggi che sono troppo obliqui all'asse non concorrono più nel fuoco, e si riuniscono invece in punti sempre più distanti dal medesimo a misura che si accresce la loro obliquità.

767. È proprietà della parabola che tutte le rette condotte dal fuoco ad un punto qualunque della curva, fanno col rispettivo piano tangente un angolo eguale a quello delle rette parallele all'asse condotte dal punto medesimo. Una fiaccola collocata dunque nel fuoco *f* della parabola AOB invierà dei raggi sulla curva, che riflessi riusciranno paralleli all'asse OD (fig. 42). Se ora si faccia ruotare la curva intorno all'asse OD, si genera la superficie d'un paraboloide, la quale pure è dotata in ogni sua sezione di tale proprietà. Si suole dare questa forma ai *riverberi* per mandare riuniti in un fascio cilindrico i raggi luminosi a grande distanza. Un piccolo lume collocato in *f* spande tutto all'intorno i suoi raggi, i quali dallo specchio parabolico sono riflessi parallelamente all'asse. Si potrebbe sostituire al riverbero parabolico AOB uno specchio sferico, il quale deve avere una piccola apertura per riflettere parallelamente all'asse i raggi luminosi, giacchè in questo caso la calotta sferica si confonde prossimamente col paraboloide. Ma se l'apertura dello specchio è d'un certo numero di gradi, allora come si disse, i raggi incidenti, che si discostano dall'asse, sono riflessi obliquamente al medesimo, e non si ha più il fascio cilindrico, come col riverbero parabolico.

I riverberi parabolici furono applicati alle lanterne per illuminare le contrade delle città. Ma vedremo, parlando della visione, che in questo caso riescono più pregiudicevoli che utili. Ai lumi di quei grandi apparecchi, che diconsi *fari* e che si erigono in vicinanza del mare per avvertire i vascelli e le navi, durante la notte, della distanza cui si trovano da un porto, da uno scoglio e simili, sono pure stati applicati *i riverberi parabolici*, ai quali ora si sono sostituite alcune specie di lenti che godono della medesima proprietà ed hanno il vantaggio di non essere alterate nella loro superficie, come lo sono i metalli. Si potrebbero accendere degli immensi fuochi, mantenerli con grandi spese ed avere dei volumi prodigiosi di luce irradiante, senza conseguire a distanza degli effetti eguali a quelli che si ottengono coi riverberi parabolici o colle lenti. Imperocchè la luce, diffondendosi in un grande spazio, perde ben presto della sua intensità, ed a pochi chilometri di distanza riesce appena sensibile all'occhio. Le fiammelle invece di alcuni lucignoli, mantenute da poco olio, producono un illuminamento assai vivo che si distingue a grandi distanze. Ai fari è applicata una zona girevole che occulta a brevissimi intervalli alcuni lumi, mentre ne lascia liberi altri in modo che la loro luce occupa successivamente sul mare delle grandi estensioni, presentandosi i fasci luminosi ai navigatori in diverse direzioni e conservando così un carattere particolare, che distingue la luce del faro da qualunque altra luce fissa sulla spiaggia o da quella di qualche stella che si trovi abbassata sull'orizzonte.

768. Dopo aver esposto le leggi e mostrati i fenomeni della luce diretta e riflessa, cerchiamo di far comprendere come le une e gli altri si riportano al sistema delle ondulazioni da noi adottato per la loro coordinazione (§. 736). Secondo questo sistema, l'etere riempie tutti gli spazii vuoti e circonda le molecole dei corpi occupandone gl'interstizii. A norma delle leggi, che si dimostrano coll'analisi matematica superiore, la pulsazione o il tremito, comunicato ad una porzione qualunque dell'etere sparso equabilmente nello spazio privo di materia ponderabile, si diffonde in esso per ogni verso con uniforme velocità, ponendone in agitazione gli atomi tutto all'intorno sotto forma di sfera, e trasfondendosi il moto agli atomi eterei dello strato sferico consecutivo, mentre si restituiscono al riposo quelli del precedente. Ciò succede conforme a quanto si è osservato in una serie di globi elastici di materia ponderabile (§§ 471 e 473), e in corrispondenza alle ondulazioni concepite dall'aria in virtù del tremito d'un corpo sonoro (§. 697). Si dimostra altresì che la ve-

locità, con cui si trasmette il tremito dall'uno all'altro strato sferico d'un mezzo, è tanto più grande quanto più questo è elastico in confronto della sua inerzia, cioè quanto più è elastico e meno denso. Siccome poi la velocità, con cui la luce viene trasmessa, risulta dalle osservazioni enormemente grande (§. 741); così si ritiene che l'etere luminoso sia eminentemente elastico ed estremamente raro. Questa densità estremamente debole dell' etere è confermata dalle osservazioni astronomiche, le quali sinora non lasciano intravedere che la sua resistenza abbia ritardato in un modo valutabile i movimenti dei corpi celesti.

Nel sistema delle ondulazioni riesce facile ad ammettere l'enorme velocità di propagazione della luce come se ne ha un'idea sensibile nel moto ondulatorio dei liquidi e nello scuotimento d'una fune ad una sua estremità (§. 565); ma ciò risulta incomprensibile nella supposizione d'un fluido emanato dal corpo luminoso. Si spiega inoltre facilmente il moto uniforme di propagazione qualunque sia la sorgente luminosa. Imperciocchè, dipendendo la velocità unicamente dall'elasticità e dalla densità del mezzo ed essendo queste per l'etere sempre le medesime in tutto lo spazio, essa deve conservarsi costante e la propagazione farsi con moto uniforme.

Non è così facile col sistema delle ondulazioni, di dar ragione della propagazione in linea retta d'un fascio di luce che passi per un piccolo foro. I movimenti degli atomi corrispondenti al foro pare che dovrebbero trasmettersi a tutto il volume d'etere sparso nello spazio oscuro ed illuminarlo, trasfondendosi all'intorno nella stessa maniera che un suono generato al di fuori d'una piccola apertura d'una camera, si ode in tutto l'interno della medesima. Questa difficoltà, che aveva fatto rigettare al gran Newton il sistema delle ondulazioni, sembra essere stata sciolta osservandosi che la luce, nel penetrare per un foro, non si propaga esattamente in linea retta ma si estingue gradatamente sui confini determinati col calcolo in certe linee curve, mentre la porzione più sensibile segue il cammino rettilineo e rende meno percettibile pel suo contrasto quella che si diffonde lateralmente. Il cammino rettilineo della luce, che ha origine da un punto attorno al quale lo spazio è libero, è una conseguenza della dottrina matematica del moto ondulatorio. Ciascun atomo etereo, posto in agitazione dalle vibrazioni del punto luminoso, genera un'onda sferica: tutte le superficie sferiche degli atomi così agitati intorno a quel punto s'intersecano e formano colle loro intersezioni una superficie inviluppante simile, che costituisce l'onda luminosa complessa,

distruggendosi reciprocamente tutte le altre porzioni delle onde parziali pei loro movimenti contrarii. In tal modo si va rarefacendo ad ogni istante la superficie generale dell'onda, la quale si propaga come se esistesse sola e si dilata a misura che il moto si comunica agli atomi consecutivi, mostrandosi luminosa nella direzione del raggio condotto dal punto d'origine alla superficie medesima. Nella fig. 43 sono descritte le onde parziali generate dagli atomi eterei posti all'intorno del punto irradiante $S$ nella sfera ABCD, le quali onde colle loro intersezioni formano l'onda complessa o inviluppante *abcd*. Da quest'ultima onda complessa si genera egualmente negli atomi consecutivi un nuovo ordine d'onde parziali, per le quali si forma una nuova onda complessa di maggior amplitudine della precedente e così successivamente in modo che il moto ondulatorio si propaga tutt'all'intorno del punto irradiante S elidendosi i moti laterali e rimanendo soltanto quelli nella direzione del raggio dell'onda. Da questa dichiarazione si potrà prendere un'idea più distinta del raggio luminoso considerato secondo il sistema delle ondulazioni.

Cerchiamo ora di spiegare il modo con cui succede la riflessione giusta il sistema delle ondulazioni; e prendiamo un fascetto luminoso separato dal resto dell'irradiazione, che incontri una superficie speculare AB (fig. 44). Sia MN la porzione dell'onda complessa ed $rs$, normale ad MN, la direzione con cui essa s'avanza verso la superficie AB. I punti M,$r$ ecc., a misura che sono raggiunti dall'onda, diventano tanti centri da cui si diramano le onde parziali M$m$,$rt$ ecc , che si propagano colla medesima velocità a destra della superficie nello stesso modo che procederebbero in avanti secondo MM$'$,$rs'$ ecc. quando non esistesse la superficie riflettente. Al momento che l'onda parziale N raggiunge in N$'$ la superficie AB; l'onda generatasi in M si è avanzata ed ha acquistato il raggio M$m$ eguale N$n$. Parimenti le onde incidenti $s$ giunte successivamente in $r$ si trasformano in onde che hanno per centro $r$ ed acquistano i raggi $rt$ eguali ad $rs'$, trovandosi colle loro comuni intersezioni sul piano $mn$ tangente a ciascuna di esse e componendo così l'onda complessa eguale alla M$'$N$'$ che si formerebbe al di sotto della superficie AB, quando questa superficie non vi fosse. L'onda complessa $mn$, formatasi in tal modo, procederà secondo le rette M$m$,$rt$ estinguendosi, giusta quanto si è superiormente dichiarato, i moti laterali, ed è secondo quelle direzioni parallele che si manifesterà nell'etere la luce. Osservasi inoltre che l'onda complessa $mn$ è perpendicolare alla direzione M$m$,$rt$ per dove procede, essendo queste rette i raggi

delle rispettive onde parziali. Per tal modo i due triangoli rettangoli MNN′ M$mn$ sono eguali, per avere il lato comune MN′ ed il lato NN′ = M$m$; per cui l'angolo NN′M risulta eguale ad $m$M$n$, il primo dei quali è il complemento dell'angolo d'incidenza dei raggi del fascetto che cade sulla superficie AB e l'altro il complemento di quello di riflessione del fascetto medesimo. È appunto nell'eguaglianza di questi angoli che consiste la legge della luce riflessa manifestataci dall'esperienza (§. 754).

769. Il fluido luminoso non solo è riflesso, ma attraversa i corpi trasparenti dai quali è trasmesso e rende illuminata la parte opposta a differenza dei corpi opachi che producono l'ombra (§. 744). In generale i corpi trasparenti, per rispetto alla luce, chiamansi *mezzi*, i quali possono essere solidi come è il vetro, liquidi come è l'acqua ed aeriformi come è l'aria, e non si lasciano attraversare con eguale facilità. Quei corpi, che danno passaggio alla luce senza minorarne gli effetti, chiamansi *mezzi liberi*, che non esercitano per ciò alcuna azione sulle onde luminose. Che se un corpo agisce di continuo con l'eguale forza sulla luce e le oppone sempre l'egual resistenza nel passaggio, allora dicesi *mezzo uniforme*. Infine si ha il *mezzo variabile* quando non presenta una resistenza costante alla trasmissione della luce. Tutti i corpi trasparenti sono mezzi, che nel passaggio del fluido luminoso ne diminuiscono più o meno l'intensità; e gli stessi corpi opachi, tagliati in lamine sottili, diventano altrettanti mezzi per essere translucidi.

Per determinare la legge con cui la luce va diminuendo nel propagarsi attraverso un mezzo uniforme, si concepisca il mezzo medesimo diviso in istrati d'eguale grossezza; talchè tutti abbiano lo stesso numero di molecole equabilmente disposte per intercettare il lumico. Si esprima con 1 l'intensità della luce, che si presenta al primo strato del mezzo che deve attraversare, e con $\frac{1}{m}$ la frazione intercettata da ogni strato della quantità che s'introduce per esso. Il lumico che entra nel primo strato si ridurrà perciò ad $1 - \frac{1}{m} = \frac{m-1}{m}$ al momento che ne esce. Nel passare questa porzione pel secondo strato ne è assorbita l'emmesima parte ossia $\frac{m-1}{m^2}$ e ne rimane quindi $\frac{m-1}{m} - \frac{m-1}{m^2} = \frac{(m-1)^2}{m^2}$. Parimenti del terzo strato ne resta intercettata la quantità $\frac{(m-1)^2}{m^3}$ e n'esce

la porzione $\frac{(m-1)^2}{m^2} - \frac{(m-1)^2}{m^3} = \frac{(m-1)^3}{m^3}$. Nello stesso modo si trova che, dopo aver attraversato il quarto strato, la luce rimanente è espressa da $\frac{(m-1)^4}{m^4}$, e dopo aver trascorso per l'ennesimo strato si riduce a $\frac{(m-1)^n}{m^n}$. La luce dunque nel passare pel mezzo uniforme andrà decrescendo in intensità secondo la progressione.

$$\frac{(m-1)^0}{m^0}, \quad \frac{(m-1)^1}{m^1}, \quad \frac{(m-1)^2}{m^2}, \quad \frac{(m-1)^3}{m^3} \quad \ldots\ldots \quad \frac{(m-1)^n}{m^n}$$

Se il mezzo è variabile, allora la diminuzione dipenderà dalla diversa azione di ciascuno strato. Qualunque per altro sia la perdita, è certo però che quanto più a lungo la luce si moverà per un tal mezzo, tanto più grande riuscirà la diminuzione della intensità. Da ciò si apprende che la luce dei corpi celesti diminuisce in intensità nell'attraversare l'atmosfera per giungere sino a noi. Bouguer infatti ha trovato che, pel tratto di 350 metri d'aria vicino alla nostra terra o alla densità ordinaria, la luce perde $\frac{1}{100}$ della sua intensità ed insensibile ne riesce la perdita pel tratto di metri 5,5. Dentro questi limiti l'aria si ritiene per rispetto alla luce come mezzo libero. Una colonna d'acqua, della lunghezza di circa 230 metri, assorbe tanta luce che la fiamma d'una candela riesce insensibile all'occhio collocato all'opposta estremità, e quel liquido sembra un corpo opaco. Secondo gli sperimenti di Bouguer, una massa d'acqua di mare della grossezza di metri 220 non lascia passare verun raggio solare, non producendo sull' occhio effetto valutabile. Le nubi, che hanno talvolta alcuni chilometri di grossezza, oscurano in modo notabile il giorno, principalmente se si estendono sull' orizzonte. Le nebbie molto dense intercettano una grande quantità di luce, e in un giorno di folta nebbia mi è accaduto di osservare che la fiamma del gas d'una lanterna scompariva affatto all'occhio alla distanza di soli 10 metri.

Se una lastra di vetro nel trasmettere la luce ne assorba $\frac{1}{10}$, per due di tali lastre l'assorbimento, secondo la progressione dimostrata, sarà $\left(\frac{m-1}{m}\right)^2 = 0,81$: per tre 0,729, per sei lastre si ridurrà a quasi la metà, e dopo sette a meno della metà, risultando in questo caso un poco minore di 0,48. Su questo principio Lampadius ha imaginato

un metodo fotometrico da sostituire a quelli altrove descritti (§§. 752 e 753). Esso consiste in dischi o sottili lamine di corno, che si dispongono l'una di dietro all'altra, sinchè con un certo numero il córpo luminoso riesca invisibile. Invece delle laminette di corno possono servire altre simili materie. I numeri delle laminette, necessarie ad intercettare in tal modo la luce di due sorgenti luminose, fanno conoscere il rapporto delle loro intensità. Ma è difficile avere le laminette eguali; d'altronde, supposta anche l'eguaglianza, non è provato che la luce già indebolita attraversi le laminette posteriori nella stessa proporzione che era trasmessa dalle prime quando era molto intensa. L'autore ad ogni modo trovò nei suoi sperimenti che 80 di tali laminette intercettavano i raggi solari; circa 60 in 65 se ne richiederanno per impedire il passaggio della luce del cielo sereno; 36 per quella della fiamma d'una comune candela di sego ed infine 98 per la luce prodotta dalla combustione del fosfóro nell'ossigeno (1). Si avrebbero quindi le intensità della luce della candela, del sole e del fosfóro nel rapporto delle quantità $\frac{(m-1)^{36}}{m^{36}}$, $\frac{(m-1)^{80}}{m^{80}}$, $\frac{(m-1)^{98}}{m^{98}}$, ossia come 1, $\frac{(m-1)^{44}}{m^{44}}$, $\frac{(m-1)^{62}}{m^{62}}$. Dove vedesi che bisognerebbe conoscere la perdita $\frac{1}{m}$ che subisce la luce nell'attraversare una delle laminette per avere i rapporti definiti delle intensità di quelle sorgenti luminose.

770. Quando un fascio di luce entra obliquamente in un corpo trasparente, esso viene deviato dal suo cammino e piega da una parte frangendo in certo qual modo la sua direzione rettilinea, ed è perciò che tale deviazione si chiama *rifrazione*. Sia AB la linea di separazione del mezzo o corpo trasparente (fig. 45), per esempio acqua, SC un fascio luminoso, ed EF la normale alla superficie del mezzo. La luce, entrando nel mezzo, invece di progredire da SC in $x$ pel cammino rettilineo $SCx$, piega e prende la direzione CR, secondo la quale si propaga sinchè non esce dal mezzo medesimo. Questo piegamento è appunto ciò che dicesi rifrazione. La luce SC, che si presenta in C al corpo trasparente, denominasi *fascio o raggio incidente, essendo* C *il punto d'incidenza o d'immersione*, CR *il raggio rifratto*, SCE *l'angolo d'incidenza*, RCF *l'angolo di rifrazione*, $Cx$ *il raggio diretto*, $RCx$ *l'angolo rifratto o la deviazione*. Inoltre ACS è il *piano d'incidenza*

(1) *Beiträge zur Atmosphärologie* di Lampadius, Freiberg 1817, pag. 164.

e BCR *quello di rifrazione*. Si può dimostrare il fenomeno della rifrazione mediante una cassetta GABD a pareti opache (fig. 46), sulla quale si fa cadere obliquamente un fascio luminoso che, incontrando la parete BD, produce sul fondo della cassetta l'ombra B$x$ determinata dal raggio luminoso S$x$, che lambisce l'orlo della cassetta. Versando dell'acqua nella cassetta, il raggio S$x$ si rifrange in $c$ e prende la direzione $cr$ producendo l'ombra B$r$ più corta della prima segnata dal raggio di luce $cx$. Condotta la normale $ef$, si ha l'angolo d'incidenza $sce$ e quello di rifrazione $rcf$. Si istituisce una sperienza somigliante con un cubo di vetro, che trovasi talvolta in alcuni gabinetti di fisica. Due assicelle piegate a squadra, come il fondo e la parete della cassetta, si dispongono in maniera che una di esse sia orizzontale, mentre l'altra riuscirà verticale. Quest'ultima abbia l'altezza eguale a quella del cubo, e si collochi di contro ai raggi solari in modo che getti l'ombra sull'assicella orizzontale. Si segni la lunghezza di quest'ombra, e poscia si ponga il cubo contro l'assicella verticale: i raggi solari, che lambendo l'assicella determinavano l'ombra, sono obbligati ad attraversare la massa del cubo, da cui sono rifratti e l'ombra alquanto raccorciata.

Per determinare le leggi della rifrazione serve un apparato somigliante a quello che ha servito per le leggi della riflessione (§754), imaginato ad uso delle scuole da Caruso (1). *L'apparato per la rifrazione* vedesi rappresentato nella fig. 47. Esso risulta di un disco circolare di legno di sufficiente grossezza, montato verticalmente sopra un solido piede. La superficie anteriore del disco è ricoperta di lamina di rame egualmente circolare ed è disposto su di essa un pezzo semicircolare FOF' di cristallo in modo che il suo diametro ed il suo centro coincidano con quello della lamina metallica. La convessità del cristallo è rivolta verso il basso, ed è attraverso di esso che ha luogo la rifrazione. Sulla lamina metallica sono delineati gli angolid'incidenza $axh$,$bxh$ ecc. corrispondenti a quelli di rifrazione A$x$H,B$x$H ecc. Questi angoli sono di tale grandezza l'uno rispettivamente all'altro che i loro seni $ap$,'AP'; cP,CP ecc. conservano sempre lo stesso rapporto di 2 : 3; il qual rapporto si scorge da lineette di divisione in parti eguali segnate sui seni medesimi. Il cristallo è assicurato con due viti alla superficie metallica e ne è discosto per l'intervallo di 4 in 5 millimetri. Sull'orlo del quadrante superiore del disco è scorrevole un pezzo conico T d'ottone con un piccolo foro nel mezzo, ed è ad esso che si applica l'occhio per le osservazioni.

(1) Vedi *Annali di fisica*, ecc. di Maiocchi, tom. XXII, pag. 255.

Questo traguardo T si muove come un alidada portando con sè un filo metallico $rr'$ girevole intorno al centro $x$ comune al disco ed al cristallo, in modo che la porzione $rx$ del filo rappresenta un raggio del disco medesimo. Inoltre, applicando l'occhio al traguardo T, il filo $rx$, indica il raggio visuale, essendo il diametro del cristallo coperto da una lamina annerita eccetto la parte $mn$ corrispondente al centro; e in tal modo la visione ha luogo soltanto pel centro $x$ a traverso il cristallo semicircolare. La lamina annerita ha un'appendice che s'innalza verticalmente nel punto $m$, la quale appendice serve ad escludere quella luce diffusa, che, riflessa sulla supercie $mn$ del cristallo lasciata a nudo, giungerebbe all'occhio e, come estranea, sarebbe di nocumento all'osservazione del fenomeno.

Sul quadrante inferiore del disco è scorrevole, nello stesso modo del traguardo, il piccolo stilo S, alquanto prominente, che serve di scopo ad essere veduto per rifrazione attraverso il cristallo.

Il traguardo T e lo stilo S sono forniti d'una molla che, scorrendo lungo la circonferenza del disco, fa arrestare il traguardo nelle posizioni H, A, B, C, D, E, e lo stilo nei punti $h$, $a$, $b$, $c$, $d$, $e$; e ciò all'uopo di sollecitamente rinvenire con precisione in ogni sperienza i punti della visione del fenomeno come vedremo. Lo stilo S è illuminato dalla luce diffusa inviata per riflessione da una lamina bianca lunga parecchi centimetri convenientemente disposta sulla colonnetta P dell'apparecchio. Ciò posto ecco come si procede nell'operazione per dimostrare le leggi fondamentali della rifrazione.

Si colloca lo stilo S sopra uno dei punti segnati nel quadrante inferiore e si fa scorrere il traguardo T in varii versi, sinchè si è raggiunta la posizione nella quale si vede lo stilo S pel centro $x$ a traverso il cristallo. Si trova allora che il filo metallico o il raggio visuale $rx$ coincide con quel raggio, che fa colla normale H$h$ un angolo il cui seno contiene tre delle unità di lunghezza, mentre il seno dell'angolo d'incidenza determinato dalla posizione dello stilo, ne contiene due. Variando la posizione dello stilo S, ossia l'obliquità d'incidenza, e disposto il traguardo T per la visione del medesimo, si trova che seni dei due angoli hanno sempre lo stesso rapporto di 2 : 3; ossia ciò si verifica quando lo stilo è in $c$ e il traguardo in C, vedendosi in tale posizione pel centro $x$ a traverso il cristallo lo stilo S, e così in qualsiasi altra posizione. Si osserva altresì che il raggio rifratto giace sempre nello stesso piano del raggio incidente.

Si noti che nell'apparecchio così disposto il raggio incidente sulla superficie della semicirconferenza FOF' del cristallo riesce sempre

normale, essendo il centro $x$ il solo punto di visione. Infatti le linee $ax$,$bx$ ecc. sono contemporaneamente raggi del disco e del pezzo semicircolare di cristallo, e sono quindi sempre perpendicolari alla periferia; per cui come vedremo or ora, si ha la rifrazione soltanto all'uscire il raggio lucido dal cristallo per entrare nell'aria, dai quali due mezzi la linea di separazione è il diametro del pezzo circolare.

Se invece del cristallo si ponesse un altro corpo trasparente, varia bensì la rifrazione, ma fra i seni dei due angoli d'incidenza e di rifrazione si conserva per quello stesso corpo sempre l'egual rapporto qualunque sia l'obliquità del raggio. Il descritto apparato può servire per mostrare nella scuola le leggi fondamentali della rifrazione, le quali sono le seguenti: I. i raggi incidenti e rifratti giaciono sullo stesso piano che passa per la normale; II pel medesimo mezzo il rapporto fra i seni dell'angolo d'incidenza e di rifrazione è costante ed indipendente dall'inclinazione del raggio colla normale alla linea di separazione. Se quindi chiamasi $i$ l'angolo d'incidenza e $r$ l'angolo corrispondente di rifrazione, si ha sempre $\frac{sen.\ i}{sen.\ r}=n$, in cui $n$ è costante per lo stesso mezzo qualunque sia l'obliquità del raggio incidente. La quantità $n$ chiamasi *esponente* od *indice di rifrazione*; III nell'apparato o come meglio vedesi nella fig. 45, se il raggio incidente SC va dall'aria nel cristallo, il raggio rifratto CR si accosta alla normale EF; che se il raggio incidente è RC ed esce dal cristallo per entrare nell'aria, allora il raggio CS è il rifratto, che si allontana dalla stessa normale non progredendo pel cammino rettilineo RC$y$. Nel primo caso essendo $i$ l'angolo d'incidenza e $r$ l'angolo di rifrazione sarebbe $\frac{sen.\ i}{sen.\ r}=n$ maggiore dell'unità e per conseguenza l'indice $n>1$; e nel secondo caso risulterebbe invece $n<1$. Il mezzo in cui entra il raggio luminoso e si rifrange accostandosi alla normale, ossia in cui risulta $n>1$, si suole dire che è più rinfrangente di quello da cui esce, e viceversa. Vedremo in seguito che lo stesso mezzo in generale diventa più rifrangente aumentando la sua densità, come pure faremo conoscere i metodi precisi per determinare l'indice $n$ di rifrazione dei diversi mezzi.

Allorchè il raggio incidente è RC, quello rifratto diventa CS. Ma quantunque cambino di nome, essi però non cambiano di valore. E perciò si suol dire che *un raggio, nel suo regresso o nel retrocedere per passare nel primitivo mezzo, ritorna a battere il medesimo cam-*

*mino*. Talchè essendo $n$ l'indice di rifrazione quando la luce passa dal primo nel secondo mezzo, è $\frac{1}{n}$ l'indice di rifrazione quando esso ripassa dal secondo nel primo. In tal modo l'indice di rifrazione dell'acqua per rispetto all'aria è $\frac{4}{3}$, e l'indice dell'aria per rapporto all'acqua risulta $\frac{3}{4}$.

Il fenomeno del movimento della luce rifratta ha qualche relazione col movimento rifratto della materia ponderabile nel passare da un mezzo in un altro di diversa densità (§. 587). In questo caso però il corpo, nel passare dall'aria nell'acqua, si discosta dalla normale; mentre la luce si avvicina: questa differenza potrebbe essere un'altra ragione per ritenere che la propagazione della luce non succede con un *movimento di traslazione* d'un fluido emesso dal corpo luminoso, ma bensì *con un movimento d'ondulazione* dell'etere sparso in tutta la natura.

771. Le precedenti leggi valgono in generale per le materie trasparenti attraversate dalla luce; ma non dobbiamo tralasciare di notare che vi sono parecchi corpi, pei quali il fascio luminoso si divide in due e presentano il fenomeno della *doppia rifrazione*. Noi qui incominceremo a parlare della *rifrazione semplice* e ci occuperemo più avanti della doppia. Osserveremo altresì che un fascio luminoso, quando fosse composto di parti omogenee ed egualmente rifrangibili, dovrebbe, nell'essere rifratto da un mezzo, uscirne tutto unito come vi è entrato; altrimenti i diversi raggi componenti il fascio medesimo devierebbero più o meno dal loro cammino secondo il grado di rifrangibilità di cui sono dotati. Vedremo nella seguente sezione, che ha luogo appunto quest'ultimo caso, il quale si manifesta sensibile all'occhio quando la deviazione del raggio emergente è grande. Considereremo primieramente il caso in cui tutte le parti del fascio abbiano lo stesso grado di rifrangibilità, e quando faremo delle applicazioni numeriche s'intenderà sempre dei raggi di media rifrangibilità.

Intanto diremo che le leggi della rifrazione semplice annunziate ci mettono in grado di delineare l'andamento del raggio rifratto per un dato mezzo, quando si conosca per esso l'indice $n$ e l'angolo del raggio incidente, come meglio in seguito mostreremo. Siamo altresì già in grado di spiegare i fenomeni seguenti: si ponga sul fondo di una catinella una moneta, ed una persona si collochi in tale situazione

che la parete le impedisca appena di vederla; talchè i raggi di luce riflessi dalla moneta, radendo l'orlo della parete, giungano poco superiormente all'occhio dell'osservatore. Ora senza rimuovere veruna cosa dalla sua posizione si versi dell'acqua nella catinella, e tosto la moneta ricomparirà alla vista dello spettatore. I raggi lucidi che partono dall'oggetto, nel passare dall'acqua nell'aria, si rifrangono e si discostano dalla normale e quindi si abbassano, pervengono all'occhio, e rendono visibile la moneta. Vedremo meglio parlando della visione, e noi l'abbiamo già altrove rammentato (§. 739), come riferiamo gli oggetti sul prolungamento delle ultime porzioni dei raggi che pervengono all'organo della vista; per cui la moneta e il fondo del vaso ci compariscono rialzati. Per la stessa ragione un pesce o qualunque altro oggetto nell'acqua ci comparirà generalmente in una situazione differente dalla reale; e così un bastone, una bacchetta immersa in parte nell'acqua ci sembra piegata, perchè la porzione che trovasi nell'acqua è per rifrazione rialzata. Il sole, la luna ed altri astri appariscono più elevati sull'orizzonte, perchè i raggi luminosi passano successivamente per istrati d'aria sempre più densi, i quali per rifrazione fanno successivamente piegare i raggi verso la normale e li conducono all'occhio dello spettatore, che ne riferisce i punti, donde provengono, sul prolungamento delle ultime porzioni dei medesimi raggi, giunte al suo occhio. È per questa ragione principalmente che si può fissare impunemente il sole prossimo all'orizzonte, cioè al momento che nasce o che tramonta, mentre abbaglia la vista quando è allo zenito. Secondo Bouguer di 10000 raggi che verrebbero a noi da un astro nel caso che non vi fosse l'atmosfera, 6 soli ne pervengono quando esso è nell'orizzonte, ed 8123 quando è nel meridiano.

772. La rifrazione è nulla quando l'angolo d'incidenza è zero, ed il raggio o fascio luminoso passa dall'uno nell'altro mezzo e prosegue in linea retta senza deviare dal suo cammino. È questa una conseguenza delle leggi stabilite: infatti l'angolo d'incidenza SCE diventi zero ossia il raggio SC abbia la direzione lungo la normale EC (fig. 45); allora nel rapporto $\frac{sen.\ i}{sen.\ r}=n$, sarà $i=o$ ed anche $sen.\ i=o$, e per conseguenza $\frac{o}{sen.\ r}=n$, ossia $sen.\ r=\frac{o}{n}=o$. Dove essendo zero il seno dell'angolo di rifrazione $r$, deve essere pure zero l'angolo medesimo, e perciò il raggio entrerà nel mezzo progredendo sul prolungamento CF della normale ECF. Da tutto ciò si ricava che *quando i raggi luminosi si presentano perpendicolarmente ad un mezzo, essi vi*

*entrano senza subire veruna rifrazione, progredendo in linea retta come se continuassero a muoversi nello stesso mezzo di prima.*

Questa verità si dimostra direttamente coll'apparato suddescritto (fig. 47). Collocando lo stilo S in $h$, bisogna portare il traguardo T in H per poterlo osservare, e la visione si fa quindi a traverso il cristallo sulla medesima retta H$xh$. In questo caso infatti la luce entra normalmente alla circonferenza nel pezzo di cristallo FOF' e ne esce del pari normalmente alla superficie $mn$ di separazione, vale a dire passa dal cristallo nell'aria in direzione perpendicolare alla linea dividente i due mezzi, e in tale andamento la luce segue la direzione rettilinea ossia non è rifratta.

Affinchè i corpi solidi e liquidi trasmettano la luce secondo le leggi annunziate, è necessario che siano perfettamente diafani ed abbiano le superficie ben levigate. La seconda condizione si verifica al pari della prima naturalmente nei liquidi limpidi o sgombri nella loro massa di qualunque sostanza straniera; e sino ad un certo grado si riscontra nei corpi solidi cristallizzati. I solidi però, generalmente parlando, si riducono coll'arte ad avere le superficie ben levigate, costruendosi i mezzi diottrici ad uso delle scienze e della società, nello stesso modo che si costruiscono i mezzi catoltrici o gli specchi. Quando un corpo trasparente non è ben limpido e levigato, esso certamente lascia passare la luce; ma nel medesimo tempo la disperde irregolarmente per ogni verso in modo che non si distinguano più attraverso di lui i corpi lucidi.

773. La rifrazione è sempre accompagnata dalla riflessione. Infatti abbiamo già veduto (§. 755) che i corpi trasparenti riflettono la luce, e la quantità dei raggi riflessi cresce con l'angolo d'incidenza; per cui soltanto parte dei raggi luminosi entrano nel corpo e sono deviati dal loro cammino per rifrazione. Basta dirigere un fascio di luce obliquamente alla parete d'una cassetta parallelepipeda a pareti di vetro piena d'acqua, che si vedranno i raggi luminosi in parte essere riflessi facendo l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione, e in parte penetrare nel mezzo liquido e venire rifratti secondo le leggi stabilite. Anzi il fascio, giunto per l'acqua sulla parete opposta, viene di nuovo in parte riflesso, e in parte ripassa nell'aria subendo una seconda rifrazione contraria alla prima. Siccome poi, a misura che cresce l'angolo d'incidenza aumenta il numero dei raggi riflessi (§. 755) e i raggi penetrati nel mezzo subiscono una maggior rifrazione; così sotto angoli incidenti sempre più grandi aumenta la quantità di luce riflessa e diminuisce quella rifratta che devia però maggiormente dal

suo cammino. Quando l'angolo d'incidenza è zero, ossia quando la luce si presenta perpendicolarmente alla linea di separazione dei due mezzi, mentre la rifrazione è nulla, la riflessione è minima e la maggior quantità di luce penetra nel nuovo mezzo senza essere deviata dal suo cammino rettilineo.

Si possono vedere la riflessione e la rifrazione moltiplicarsi un certo numero di volte nel passare la luce da un mezzo all'altro, istituendo la sperienza con un vaso cilindrico di vetro pieno d'acqua. Sia AB la sezione orizzontale di questo vaso (fig. 48) ed S*a* un fascio di luce che entra nella camera oscura per un piccolo foro: questa luce giunta in *a* penetra nell'acqua rifrangendosi, e per riflessioni successive sulla parete interna del cilindro percorre il cammino *ab*, *bc*, *cd*, *de*, ecc., ed all'atto d'entrare nel liquido subisce la prima riflessione *ag*, e poscia emerge successivamente rifrangendosi prendendo le direzioni *bh*, *cm*, *dn*, ecc. Le riflessioni interne si osservano dall'alto del vaso, e per meglio vederle l'acqua deve essere un poco torbida: esse vanno sempre più indebolendosi in intensità e dopo 5 in 6 riflessioni e rifrazioni riescono quasi insensibili all'occhio.

Quando un fascio di luce si presenta sotto un certo angolo ad un mezzo per passare in un altro meno rifrangente, può succedere sulla superficie di separazione dei due mezzi una riflessione totale senza poter la luce emergere dal mezzo ed essere rifratta. Sia AB la superficie di separazione di due mezzi, acqua ed aria oppure vetro ed aria, dei quali i primi sono più rifrangenti del secondo (fig. 49); e sia SC un raggio luminoso che dal mezzo più rifrangente passa nell'altro di minore potere rifrattivo: esso si allontanerà dalla normale CE prendendo la direzione CR. S'ingrandisca l'angolo d'incidenza e prenda il raggio luminoso la direzione S'C: esso entrerà nell'aria rifrangendosi secondo CR'. Continuando a far cadere dei raggi incidenti sotto angoli sempre più grandi, si giungerà al raggio S''C, che passando nell'aria si rifrangerà confondendosi colla linea AB di separazione dei due mezzi, e al di là di questo punto i raggi non potranno più emergere dal mezzo dove si trovano per passare nell'altro. Un raggio dunque S'''C sarà interamente riflesso secondo CR''' facendo l'angolo d'incidenza S'''CF eguale a quello di riflessione R'''CF. Nel caso del raggio S''C, che nell'emergere viene rifratto parallelamente alla linea di separazione CB dei due mezzi, sarà, nel valore $\frac{sen.\ i}{sen.\ r} = \frac{1}{n}$, $sen.\ r = sen.\ 90^{\circ} = 1$ e quindi $sen.\ i = \frac{1}{n}$. Se quindi il raggio incidente S'''C fa un angolo

tale che si abbia $sen.\ i > \frac{1}{n}$, esso non potrà più emergere dal mezzo e sarà intieramente riflesso nel medesimo. Per l'acqua e l'aria è $n = \frac{4}{3}$, per cui risulta $sen.\ i = \frac{3}{4}$, il che dà $i = 48^0\ 35'$. Un raggio di luce dunque non può sortire dall'acqua per passare nell'aria, quando l'angolo d'incidenza SCF non sia minore di 48° 35', ed oltre quest'angolo i raggi subiranno una riflessione totale senza che passi luce nell'altro mezzo. L'inclinazione, oltre la quale un raggio luminoso non può più passare da un mezzo in altro meno rifrangente, chiamasi *angolo limite*; *il quale per ogni corpo è quello il cui seno è eguale al rapporto inverso dell'indice di rifrazione fra i due mezzi*. Così, p. e. l'indice di rifrazione fra l'aria e il vetro comune essendo di $\frac{3}{2}$, l'angolo limite d'un raggio luminoso, che dal vetro deve passare nell'aria, avrà per seno $\frac{2}{3}$, per cui l'angolo stesso risulterà di 41° 49.

Reciprocamente la luce non potrà mai penetrare dall'aria nell'acqua sotto un angolo di rifrazione maggiore di 48° 35'. In un vaso *abcd* pieno d'acqua e chiuso in parte dal coperchio *ae* (fig. 50), l'ultimo raggio di luce, che giunge ad illuminare la massa liquida, avrà la direzione *se*, il quale penetrando nell'acqua si rifrange facendo l'angolo *ref* eguale a 48° 35'. Nello spazio *abre* non entrerà verun raggio di luce dal di fuori del vaso, e un occhio che si collocasse in quello spazio, per quanto si rivolgesse verso la parte aperta del vaso non riceverebbe verun raggio luminoso di quelli che cadono sulla superficie *ed* del liquido. Egli vedrebbe soltanto illuminata l'acqua compresa nella capacità *rcde*. Nel vaso poi AB pieno d'acqua (fig. 51), tenendo sommerso vicino alla superficie il globetto G, l'osservatore, collocatosi coll'occhio in O in modo che il raggio lucido G*e* del globetto, con cui questo riuscirebbe visibile, faccia l'angolo d'incidenza G*ef* non minore di 48° 35', non vedrebbe il globetto medesimo. Qualunque altro raggio lucido G*m* al dissotto di G*e* verrebbe totalmente riflesso verso *mn*, e gli altri raggi G*p* al di sopra di G*e* potrebbero bensì uscire dall'acqua e passare nell'aria, ma essi sarebbero rifratti verso *pq*, troppo elevati per giungere all'occhio posto in O.

Pel vetro l'indice di rifrazione *n* può variare da 1, 5 ad 1, 545, e per conseguenza l'angolo limite pel medesimo è compreso fra 41° 49' e 40° 20'. Ora si lavori un cilindro di vetro *abcd* coll'estremità *ab* terminata in piano perpendicolare all'asse, e coll'opposta nel piano *cd*

inclinato di circa 48° coll'asse medesimo (fig. 52): rivolgendolo direttamente verso il sole, i raggi luminosi non passano attraverso di esso dall'estremità *ab* per quella opposta *cd*. Si può costruirne un apparecchio apposito per meglio fare l'osservazione munendolo d'assettatura in modo da applicarlo a sfregamento dentro il tubo d'ottone ABCD, per rivolgerlo verso il sole come si farebbe d'un cannocchiale, senza che l'occhio posto al foro della parte CD del tubo sia abbagliato. I raggi solari, come *sr*, entrano per la faccia *ab* del cilindro di vetro parallelamente all'asse, e giungono sull'opposta *cd* facendo colla faccia stessa l'angolo di 48°, per cui l'incontrano sotto l'angolo d'incidenza di 42° che è il complemento di 48°. Ora 42° è maggiore dell'angolo limite sunnotato pel vetro, e quindi quei raggi non potranno penetrare per *cd* nell'aria, ma ne saranno riflessi nella direzione *rt*. Applicando invece al tubo il cilindro *a'b'c'd'* della stessa materia con ambedue le basi perpendicolari all'asse, e rivolto verso il sole, l'occhio posto al foro dell'estremità CD non potrà sopportare impunemente l'irradiazione solare che abbaglia la vista.

Quando i raggi luminosi tendono dunque ad uscire da un mezzo per passare in un altro meno rifrangente sotto un angolo d'incidenza maggiore dell'angolo limite, ha luogo il fenomeno della *riflessione totale*; vale a dire rimangono nel primitivo mezzo riflettendosi sulla superficie di separazione secondo la legge nota (§. 754). È questo il solo caso in cui la luce può essere compiutamente riflessa da un corpo trasparente senza attraversarlo. L-ngolo limite, al di là del quale succede la riflessione totale, si può far conoscere nella scuola mediante l'*apparecchio per la rifrazione* (fig. 47) superiormente descritto (§. 770). A tal fine si pone lo stilo in *e*, e il traguardo in E vicinissimo all'estremità D' dal diametro DD'. Rimovendo alquanto lo stilo da *e* verso D, esso non riuscirà più visibile in qualunque posizione si collochi lo strumento. Dunque il raggio lucido sotto una certa obliquità, cioè sotto l'angolo 40° 20 che è l'angolo limite del cristallo dell'apparecchio, non si rifrange per passare nell'aria, ma è riflesso totalmente dalla superficie *mn* del cristallo medesimo.

774. Un raggio luminoso, che attraversa un corpo rifrangente qualunque ABCD a facce parallele, emerge dalla parte opposta in direzione parallela a se medesimo dopo aver subito due rifrazioni, l'una nell'entrare e l'altra nell'uscire dal mezzo (fig. 53). Che debba accadere così risulta dal considerare che il raggio SR, entrando in un mezzo, per esempio, più rifrangente dell'aria, si piega verso la normale e prende la direzione R*r*, ed uscendone si allontana dalla nor-

male, parallela alla prima, di quanto si era a questa avvicinato, andando per la via $rs$ parallela alla direzione del raggio incidente SR. Applicando infatti la nota legge (§. 770) e sostituendo ai seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione i coseni dei loro complementi, si ha: $\frac{\cos. SRB}{\cos. ARr}=n$, come pure $\frac{\cos. srD}{\cos. RrC}=n$, per cui $\frac{\cos. SRB}{\cos. ARr}=\frac{\cos. srD}{\cos. RrC}$. Ora, per le due parallele AB, DC, gli angoli A$Rr$, R$r$C sono eguali e quindi lo sono pure i coseni rispettivi, per ciò si ridurrà $\cos. SRB = \cos. srD$, ossia l'angolo SRB $=$ $sr$D, il che importa il parallelismo dei due raggi, l'incidente SR e l'emergente $rs$. Se un altro raggio SR', partendo dallo stesso punto S, entra nel mezzo ABCD, esso ne emerge nella direzione $r's'$ parallela a se medesimo. In tal modo i due raggi emergenti $rs$, $r's'$ avranno lo stesso grado di divergenza di quelli incidenti SR, SR'. Dunque *il fascio luminoso piramidale, che ha origine nel punto S ed attraversa il mezzo rifrangente ABCD a facce parallele non sarà alterato nella mutua direzione dei suoi raggi.* Appunto per tal ragione le lastre dei vetri comuni non alterano la posizione rispettiva dei fasci di luce, da cui sono attraversate.

Si sperimenta il fenomeno coll'apparato della fig. 69, che è una cassetta parallelepipeda, la cui pareti ADE, BEF sono due lastre di vetro a facce parallele. Riempiuta d'acqua, s'introduce nella camera oscura un fascio luminoso, che entra nell'acqua della cassetta per una delle pareti ADE, si rifrange ed esce per la parete opposta BCF rifrangendosi di nuovo e prendendo una direzione parallela alla primitiva.

Se il corpo è sottile e il punto d'incidenza si trova molto vicino a quello d'emergenza, allora il raggio incidente entrato nel nuovo mezzo, tosto ne esce e si può considerare sensibilmente che passi irrifratto. Questo principio può servire a sperimentare se le due facce d'una lastra di vetro o di qualunque altra materia trasparente siano fra loro parallele. A tal fine si dispone avanti all'occhio la lastra in modo da poter osservare un oggetto rettilineo, in parte attraverso alla lastra ed in parte liberamente per l'aria. Se l'oggetto risulta piegato, si ha con ciò la prova che le due facce non sono parallele, altrimenti se comparisce rettilineo tal qual è, si deve conchiudere del parallelismo delle due facce.

Si abbia il mezzo rifrangente a superficie piane non parallele $ab$, $cd$, le quali prolungate convergerebbero dalla parte $b$, $d$ sotto l'angolo, che chiameremo $x$ (fig. 54): i raggi incidenti $se$, $sf$ lo attraversano e, dopo aver subito due rifrazioni, ne emergono nelle direzioni $gm$, $hn$. Non essendo le due facce $ab$, $cd$ parallele, ciascun raggio attraversa il

mezzo e ne emerge più o meno inclinato al rispettivo raggio incidente. Affine di determinare l'andamento dei due raggi *gm*, *hn* rispettivamente ai due *se*, *sf*, osserviamo che quando *cd* era parallela alla faccia *ab* del mezzo, risultava l'angolo *sef* eguale *cgm*: ora però che la faccia *cd* converge coll'*ab* sotto l'angolo $x$, l'angolo *cgm* si sarà impicciolito della quantità $x$, ossia sarà $sef = cgm + x$. Parimenti in riguardo al raggio luminoso *sf*, l'angolo *dhn* verrà ingrandito di $x$ e non riuscirà più eguale all'angolo *sfe* come nel caso del parallelismo delle facce del mezzo rifrangente: sarà quindi $sfe = dhn - x$. Siccome poi dal triangolo *sef* si ha l'angolo di divergenza dei raggi incidenti $s = 180° - sef - sfe$; così risulterà eziandio $s = 180° - cgm - x - dhn + x$; ossia $s = 180° - cgm - dhn$. Ora, prolungando i due raggi emergenti *mg*, *nh*, essi si riuniscono sotto l'angolo $s'$, che ne misura la divergenza; ed è pel triangolo $s'gh$, $s' = 180° - s'gh - s'hg$, ossia per gli opposti al vertice, $s' = 180° - cgm - dhn$. I due angoli $s$, $s'$ hanno dunque lo stesso valore e sono per conseguenza eguali fra loro, ed i raggi emergenti hanno la medesima divergenza di quelli incidenti. Questo però vale nel solo caso che i due raggi *se*, *sf* entrino nel mezzo sotto incidenze pochissimo differenti, perchè allora ai seni si possono sostituire gli angoli corrispondenti, su di cui appoggia il precedente ragionamento. Sotto incidenze molto differenti, quantunque rimanga costante il rapporto fra i seni d'incidenza e di rifrazione, non è però questo rapporto esattamente eguale a quello degli angoli corrispondenti. Se ne deduce dunque che *i raggi luminosi nell'attraversare un mezzo rifrangente a facce piane, ne emergono colla mutua direzione che prima avevano fra loro, quando si presentino al mezzo medesimo sotto incidenze poco differenti*. Questa legge è analoga a quella degli specchi piani, i quali riflettono i raggi colla stessa mutua direzione che avevano nella loro incidenza (§. 757). I raggi luminosi paralleli, divergenti, o convergenti attraversano un mezzo rifrangente terminato in superficie piane e ne emergono paralleli, o collo stesso grado di mutua convergenza o divergenza. Nel caso poi che le facce piane del mezzo siano altresì fra loro parallele, i raggi emergenti non solo conservano la loro scambievole direzione, ma ciascuno di essi riesce eziandio parallelo al rispettivo raggio incidente.

775. Colla scorta di questi principii è facile stabilire l'andamento dei raggi luminosi, che attraversano i prismi che è la forma sotto cui adopransi i corpi rifrangenti terminati in superficie piane. In ottica s'intende per prisma un corpo trasparente, che ha almeno due facce piane, ben pulite e fra loro inclinate sotto un qualunque angolo. Con-

cepiamo in generale un pezzo di vetro, sul quale si sono lavorate un numero qualunque di facce piane, la porzione di massa vitrea compresa fra due di queste facce forma il prisma. Il *vertice del prisma* è la linea dove le due facce s'incontrano opportunamente prolungate. Qualunque faccia opposta al vertice, tanto che realmente esista quanto che s'imagini esistente, appellasi *base del prisma*, la quale ordinariamente ha l'eguale inclinazione colle facce laterali. L'inclinazione delle due facce costituisce l'*angolo rifrangente* del prisma; e chiamasi *sezione principale* quella che risulta tagliando il prisma mediante un piano perpendicolarmente allo spigolo, che ne forma il vertice.

Nella maggior parte delle sperienze s'impiegano prismi a tre facce rettangolari *abed*, *adfc*, *befc* (fig. 55). Quando la luce attraversa le facce *adfc*, *befc*, il vertice del prisma è *cf* e l'altra faccia *abed* ne è la base; quando invece si fa transitare per le facce *abed*, *adfc*, il vertice diventa *ad*, e la faccia *befc* la base. La sezione principale d'un tal prisma è sempre un triangolo, e secondo la specie di questo triangolo si ha il *prisma rettangolo*, *equilatero*, *isoscele*, e *scaleno*.

I prismi per gli usi ottici venivano per l'addietro assestati con due viere triangolari di lastra d'ottone *abc*, *def*, a cui erano assicurati per mezzo di mastice, e con due perni *p*, *p* si disponevano orizzontalmente sopra un sostegno biforcato R, che s'internava nella cavità del piede P, dove si riteneva a diverse altezze mediante la vite di pressione V. Questa foggia di assettatura non si presta per tutte le posizioni che si volesse dare all'asse del prisma, rimanendo in essa sempre orizzontale. Per poter mettere il prisma verticalmente o con l'asse più o meno inclinato, si suole disporre sopra piedi d'ottone e in assettature rappresentate nelle figure 56 e 57. Questi prismi, così disposti sopra il piede d'ottone, si possono innalzare od abbassare a piacimento secondo il bisogno estraendo più o meno la verghetta cilindrica. Per mezzo poi del ginocchio o della mastiettatura a palla (fig. 56) si può dare loro tutte le posizioni che si esigono nelle sperienze. Talvolta invece del ginocchio sono forniti di due mastiettature a rotazione l'una intorno a un asse verticale e l'altra intorno ad un asse orizzontale per disporli come più conviene (fig. 57).

776. Se i raggi d'un fascio di luce bianca fossero tutti egualmente rifrangibili, essi dovrebbero conservare la loro scambievole direzione nell'attraversare il prisma, secondo quanto è stato dimostrato pei mezzi terminati in superficie piane (§. 774). Ma come venne altrove avvertito (§. 771) e come faremo conoscere più avanti, il fascio luminoso si compone di raggi dotati di differente rifrangibilità, per cui

questi si separano e danno luogo a fenomeni fisici importanti, che studieremo nella seguente sezione. Intanto, per seguire l'andamento d'un raggio luminoso trasmesso pei prismi, riterremo che non succeda una tale separazione, oppure che si tratti di raggi elementari omogenei.

Gli angoli d'incidenza e di rifrazione trovandosi nel medesimo piano, è chiaro che tutti i raggi, i quali si presentano alla sezione principale d'un prisma, ne compiscono il passaggio senza discostarsi dalla medesima. Per seguire dunque il corso di questi raggi, basterà di considerare l'angolo che forma la sezione del prisma. Sia AV la prima faccia d'un prisma, e BV la seconda (fig. 58); *sa* un raggio luminoso incidente che fa colla normale *ap* l'angolo *sap*; *ab*, *br* il raggio successivamente rifratto nell'entrare nel prisma e nell'uscirne. Passando il raggio *sa* dall'aria nel prisma, che supporremo di vetro, esso si rifrange accostandosi alla normale *pa* prolungata dentro il prisma; e giunto alla seconda faccia sotto una certa obliquità, si rifrange di nuovo per ritornare nell'aria allontanandosi dalla normale *bq*. Nelle due rifrazioni il raggio luminoso devia sempre più dalla sua direzione rettilinea primitiva, che aveva nel presentarsi al prisma. Nel subire il raggio luminoso queste successive rifrazioni e nell'attraversare il prisma si presentano tre quantità, che si possono misurare oltre l'indice di rifrazione della materia, di cui si compone il prisma. Esse sono: 1° l'*angolo d'incidenza sap*, che noteremo con $i$; 2° l'*angolo di emergenza qbr* che diremo $r'$; 3° l'*angolo rifrangente* V del prisma che diremo $v$; 4° infine l'*indice di rifrazione* del mezzo, che si è già espresso con $n$. Queste quattro quantità sono collegate fra loro per mezzo d'una formola, che si trova colla geometria. Infatti denominiamo $x$ l'angolo *bao* di rifrazione nel prisma, *ed* $y$ quello *abo* d'incidenza sulla seconda faccia BV, e rammentiamo che il rapporto dei seni degli angoli nell'aria e nel prisma è costantemente $n$ (§. 770): e si avranno le relazioni $\frac{sen.\ i}{sen.\ x}=n$, $\frac{sen.\ r'}{sen.\ y}=n$; dalle quali si ricava $sen.\ i=n.\ sen.\ x$, $sen.\ r'=n,\ sen.\ y$.

Ora i due angoli $bom + aob$ equivalgono a due retti, come pure $aob+v$ per essere, questi ultimi, angoli opposti del quadrilatero *aob*V, che ha retti gli altri due angoli. Sarà dunque $v=bom$, ossia $v=x+y$, per essere *bom* l'angolo esterno del triangolo *abo*, e quindi $y=v-x$. Si avrà dunque $sen.\ y=sen.\ (v-x)$, oppure per la trigonometria $sen.\ y=sen.\ v,\ cos.\ x-sen.\ x,\ cos.\ v$. Sostituendo questo valore di $sen.\ y$ nella seconda delle due superiori equazioni, si ottiene

$sen. r' = n. (sen. v. cos. x - sen. x. cos. v)$; dove mettendo invece di $sen. x$ il valore tolto dalla prima di quelle equazioni si ha $sen.\ r' = n.\ sen.\ v.\ cos.\ x - sen.\ i.\ cos.\ v$. Osserviamo infine che per essere il quadrato del seno più quello del coseno eguale al quadrato del raggio, è $cos. x = \sqrt{(1 - sen^2. x)}$, il quale sostituito nella precedente eguaglianza dà $sen.\ r' = n.\ sen.\ v \sqrt{(1 - sen.^2 x)} - sen.\ i.\ cos.\ v$. ossia $sen.\ r' + sen.\ i.\ cos.\ v = n.\ sen.\ v \sqrt{(1 - sen.^2 x)}$, e facendo il quadrato $(sen.\ r' + sen\ i.\ cos.\ v)^2 = n^2.\ sen.^2\ v - n^2,\ sen.^2\ v.\ sen.^2\ x$. Mettendo invece di $sen.^2\ x$ il suo valore si ha $(sen.\ r' + sen.\ i,\ cos.\ v)^2. = n^2\ sen.^2\ v - sen.^2\ i.\ sen.^2\ v$; la quale sviluppando il quadrato e riducendo per essere la somma dei quadrati del seno e del coseno eguale a quello del raggio, si riduce

$$sen.^2\ i + sen.^2\ r' + 2.\ sen.\ i.\ sen.\ r'.\ cos.\ v = n^2.\ sen.^2\ v.$$

In questa equazione conosciute tre delle quantità si può avere la quarta, si può p. e. trovare l'indice $n$ di rifrazione misurando l'angolo d'incidenza $i$, quello d'emergenza $r'$ e l'angolo rifrangente $v$ del prisma. Vedremo in seguito l'uso di quest'equazione; intanto facciamo osservare che, quando fosse $v = o$, si avrebbe il caso delle due facce AV, BV non inclinate fra loro (fig. 58) ossia d'un mezzo rifrangente terminato in superficie parallele. Allora si ha $sen.^2\ i + sen.^2\ r' + 2,\ sen.\ i,\ sen.\ r' = o$, ossia estraendo la radice $sen.\ i + sen.\ r' = o$, e quindi $sen.\ i = -sen.\ r'$ e l'angolo $i = -r'$: vale a dire che *il raggio emergerebbe dal mezzo rifrangente piegandosi dal lato opposto sotto un angolo eguale a quello d'incidenza, ossia ch'esso emergerebbe parallelamente a se medesimo.* Questo risultato della formola conferma quanto si è altrove dimostrato (774).

777. Nell'andamento dei raggi luminosi, che attraversano un prisma rifrangente, interessa di conoscere le condizioni, sotto le quali può aver luogo l'emergenza dei raggi; giacchè entrando essi in un mezzo più rifrangente dell'aria, sappiamo che non possono sempre uscirne e ripassare nell'aria medesima, essendovi un angolo limite d'incidenza, al di là del quale succede la riflessione totale (§. 773).

Denominiamo con $m$ l'angolo limite, il quale pel vetro comune si può assumere di circa 40° 30', e con $v$ l'angolo rifrangente del prisma; ed incominciamo ad esaminare il caso di $v = 2m$, dove si dimostra facilmente che, allorquando *l'angolo rifrangente è doppio dell'angolo limite, nessuno dei raggi, che entrano nel prisma per la prima faccia, può emergere dalla seconda.* Infatti sia AVB il prisma in discorso (fig. 59); è chiaro che i raggi, che entrassero parallelamente ad A$a$, si rifrangerebbero secondo $ab$ facendo colla normale

l'angolo $baq = m$ angolo limite. Perciocchè se $ba$ fosse un raggio che dovesse uscire dal prisma sotto l'angolo d'incidenza $baq = m$, esso sarebbe l'ultimo ed andrebbe radente la faccia $a$A del prisma. Siccome il raggio nel retrocedere non cambia cammino come si è veduto altrove (§. 770); così $ab$ indica la direzione del raggio che entrasse nel prisma secondo la direzione A$a$. Da ciò si ricava che $ab$ è perpendicolare alla retta VD che divide per metà l'angolo rifrangente; giacchè l'angolo $DVa = \frac{v}{2} = m$; per cui $DVa = baq$. Ora $DaV + baq$ formano un retto; perciò anche $DaV + DVa$ formeranno pure un retto, e il triangolo $a$DV sarà rettangolo in D, ossia sarà VD perpendicolare ad $ab$. Da ciò si deduce che il triangolo $aVb$ è isoscele; per cui l'angolo D$a$V, complemento dell'angolo limite, eguaglia l'angolo D$b$V complemento dell'angolo d'incidenza, che fa il raggio $ab$ colla rispettiva normale per uscire dalla seconda faccia del prisma. Dunque il raggio $ab$, presentandosi per emergere dal prisma sotto l'angolo limite, non può uscire o almeno andrà radendo secondo $b$B la faccia del medesimo. Ogni altro incidente $sa$, che entra nel prisma, si rifrangerà secondo $ae$ facendo colla normale un angolo maggiore dell'angolo limite e proverà necessariamente la riflessione totale.

Si potrebbe dunque chiudere con un prisma trasparente l'apertura d'una camera dalla parte dove cadono i raggi solari, senza che vi entri luce nell'interno di essa, purchè l'angolo rifrangente del prisma sia almeno doppio dell'angolo limite proprio della materia di cui è formato. Pel vetro comune l'angolo rifrangente del prisma dovrebbe essere almeno di 84°.

778. *Se l'angolo rifrangente v del prisma è eguale all' angolo limite m, i soli raggi, che cadono fra la normale e la base del prisma per entrare in esso dalla prima faccia, possono uscire per quella opposta, e tutti quelli superiori sono riflessi.* Infatti il raggio, che si presenta al prisma secondo la normale $pa$ (fig. 60), vi penetra in linea retta senza essere rifratto, giungendo alla seconda faccia sotto l'angolo d'incidenza $abq = m$. Perciocchè l'angolo rifrangente $V = m$ è complemento dell'angolo $ab$V, del quale è pure complemento l'angolo d'incidenza $abq$, e per conseguenza risulta $abq = m$. Dunque il raggio $ab$ secondo la normale è l'ultimo di quelli che emergeranno per la seconda faccia del prisma. Tutt'i raggi compresi fra la normale $pa$ e la base, come sarebbe $fa$, cadono sulla seconda faccia sotto minore obliquità, sotto l'angolo $aeq' < abq$ minore cioè dell' angolo limite, e potranno quindi ripassare nell'aria; al contrario tutti quelli, com-

compresi fra la normale $pa$ ed il vertice del prisma, penetreranno bensì nel prisma, ma si presenteranno alla seconda faccia sotto maggiore obliquità. Talchè il raggio incidente $ga$ si rifrange per $ah$ ed incontra la seconda faccia sotto l'angolo d'incidenza $ahq'' > abq$, maggiore cioè dell'angolo limite, e per ciò proverà la riflessione totale. Pel vetro comune l'angolo rifrangente è di circa 40° 30'.

779. *Allorchè l'angolo rifrangente del prisma è più piccolo dell'angolo limite, anche porzione dei raggi, che cadono sulla prima faccia del prisma fra la normale e il vertice emergono per la seconda faccia.* Imperocchè i raggi che penetrano secondo la normale $pa$ (fig. 60) si presentano alla seconda faccia sotto l'angolo d'incidenza $abq$, il quale, come si è veduto precedentemente, è eguale all'angolo rifrangente V ossia minore dell'angolo limite $m$. Perciò non solo esso emergerà per la seconda faccia, ma ben anche altri raggi al di sopra della normale verso il vertice, sinchè si giunge a quello che si presenta alla seconda faccia con obliquità tale da eguagliare nell'incidenza l'angolo limite, e che sarà l'ultimo di quelli che emergeranno dal prisma.

Con un prisma somigliante si può facilmente vedere il passaggio della riflessione parziale a quella totale, di cui si è precedentemente parlato (§. 773). Si esponga il lato AV del prisma (fig. 60) alla luce diffusa del cielo o, durante la notte, a quella rimandata da un gran foglio di carta bianca. Con l'occhio posto verso l'altro lato BV, si guardi l'imagine del cielo o della carta per la luce, che entrando nel prisma, è riflessa dalla base AB: si vedrà la debole luce prodotta dalla riflessione parziale su questa base se l'angolo d'incidenza sopra AB è minore dell'angolo limite. Ma rivolgendo il prisma sul suo asse affine di rendere l'incidenza sempre più grande, si scorge ben presto la debole luce cambiarsi in una luce brillante prodotta dalla riflessione totale.

780. La deviazione dei raggi luminosi dal loro cammino primitivo, nell'attraversare il prisma, è misurata dall'angolo rifratto, ossia da quello fatto dal raggio diretto coll'emergente (§ 770). Sia $sa$ un raggio incidente (fig. 64), il quale, rifrangendosi, prende nel prima la direzione $ab$, e ripassando nell'aria si rifrange di nuovo secondo $br$. Prolungando il raggio emergente $br$ e quello incidente $sa$, essi s'incontrano in $o$, e il primo fa col secondo l'angolo $sof$, che è quello di deviazione, che chiameremo $d$. Per avere il valore di quest'angolo, sia al solito l'angolo d'incidenza $sap = i$, quello d'emergenza o di seconda rifrazione $qbr = r'$, e l'angolo rifrangente AVB del prisma $= v$. Primieramente osserviamo che dal triangolo $abo$ si ha l'angolo,

esterno $sof = d = bao + abo$, ossia $d = eao - bae + ebo - abe$ oppure $d = sap - bae + qbr - abe$, cioè $d = i - bae + r' - abe$. Ora l'angolo in $e$ forma coi due angoli $bae, abe$ due retti, come lo stesso angolo in $e$ forma due retti con l'angolo $v = AVB$ del prisma; perciò sarà $bae + abe = v$, e quindi $d = i + r' - v$, il che significa che *l'angolo di deviazione del raggio emergente è eguale alla somma dell'angolo d'incidenza fatto dal raggio luminoso e di quello d'emergenza, meno l'angolo rifrangente del prisma.* Giova altresì notare che $bae$, angolo della prima rifrazione che direm $r$, e l'altro $abe$, quello della seconda incidenza che diremo $i'$, danno $r + i' = v$.

La deviazione del raggio emergente, per essere $d = i + r' - c$, varia nel medesimo prisma al variare gli angoli $i, r'$; ossia al variare l'angolo d'incidenza $i$ pel quale varia corrispondentemente l'angolo d'emergenze $r'$. Col calcolo superiore si dimostra che *quando il raggio entra in siffatta maniera da uscire dal prisma facendo l'angolo della seconda rifrazione eguale a quello della prima incidenza, la deviazione $d$ è minima*; il che succede quando il triangolo $aVb$ è isoscele. In tal caso l'equazione $d = i + r' - v$, si riduce all'altra $d = 2i - v$, e per conseguenza $i = \frac{1}{2}(d + v)$, vale a dire che *la minima deviazione richiede che l'angolo d'incidenza sia eguale alla semisomma dell'angolo di deviazione e di quello rifrangente del prisma.* I due angoli $bae, abe$, cioè $r, i'$, per essere i complementi dagli angoli alla base del triangolo isoscele $abV$ riusciranno eguali, e perciò l'eguaglianza precedente $r + i' = v$, diverrà $2r = v$, ossia l'angolo di rifrazione $r = \frac{v}{2}$. La comparsa della deviazione minima si riscontra eziandio con l'osservazione. S'introduca per l'apertura della camera nera un raggio solare $sa$, e si riceva sulla prima faccia AV d'un prisma rifrangente disposto orizzontalmente (fig. 61). Facendo girare lentamente il prisma sul suo asse, in modo che l'angolo d'incidenza vada variando, l'imagine solare sull'opposta parete incomincia a muoversi, e giunta in una certa posizione, quantunque si continui a rivolgere il prisma, l'imagine stessa rimane per qualche istante stazionaria. Fissando quest'ultima posizione, nella quale l'imagine dei raggi rifratti dal prisma, si trova ad una certa distanza dal sito, dove cadeva l'imagine dei raggi diretti avanti l'interposizione del prisma; avviene che, per qualunque parte si faccia ruotare il prisma stesso sul suo asse, l'imagine rifratta si allontana sempre più dal sito di quella diretta, e per conseguenza si aumenta la deviazione sinchè l'imagine

scomparisce del tutto. Dunque quella posizione è la deviazione minima, nella quale, osservando il raggio rifratto nel prisma, si vedrà che esso forma coi due lati un triangolo isoscele.

Si può determinare la direzione del raggio emergente del prisma relativamente alla normale servendosi dell'equazione $sen.^2\, i + sen.^2\, r' + 2\, sen.\, i.\, sen.\, r'\ cos.\, v = n^2\, sen^2\, v$ superiormente trovata (§. 776), e così avere in altro modo l'andamento del raggio luminoso nell'attraversare il prisma. Si misura infatti l'angolo d'incidenza $i$, mentre d'altronde son noti l'indice di rifrazione $n$ e l'angolo rifrangente $v$ del prisma, e con questi dati si avrà agevolmente il valore di $sen.\, r'$ e quindi quello dell'angolo $r'$, che fa il raggio emergente colla normale.

781. Da quanto sinora si è esposto intorno alla diottrica si vedrà di leggieri la necessità di conoscere l'indice di rifrazione $n$ proprio delle diverse materie; potendosi d'altronde facilmente misurare gli angoli d'incidenza e d'emergenza della luce pei diversi mezzi, come pure determinare l'angolo rifrangente dei prismi col mezzo del gonimetro a riflessione, che si è altrove descritto (§. 758).

Per trovare l'indice di rifrazione delle materie solide furono seguiti dai fisici diversi metodi, che andiamo ad indicare. La materia, di cui si tratta di determinare l'indice di rifrazione, è lavorata generalmente in prisma, due delle cui facce siano ben levigate e piane. Disposto il solido sotto tale forma, si determina dapprima col gonimetro a riflessione l'angolo sotto cui sono inclinate le due facce (1); e poscia, facendo cadere sopra una faccia del prisma un raggio luminoso introdotto nella camera oscura, si misura esattamente l'angolo d'incidenza $i$ e l'angolo d'emergenza $r'$: sono date in tal maniera le quantità $i$, $r'$ e l'angolo rifrangente $v$ del prisma, per cui dall'equazione altrove rinvenuta (§. 776), si ha il valore dell'indice col mezzo della formola $n = \frac{\sqrt{(sen.^2\, i + sen.^2\, r' + 2.\, sen.\, i.\, sen.\, r'\ cos.\, v)}}{sen.\ v}$.

Giova il notare che, potendosi variare a piacimento l'angolo d'incidenza $i$ e misurare ad ogni variazione il corrispondente angolo d'emergenza $r'$, mentre l'angolo rifrangente $v$ rimane costante, si trova colla detta formola per $n$ sempre il medesimo valore, il che riesce la conferma della legge stabilita (§. 770).

(1) Alla misura dell'angolo rifrangente dei prismi può servire il mio gonimetro. Esso trovasi descritto nel t. LIV della *Biblioteca italiana* del 1829, e nel fascicolo di novembre e dicembre dello stesso anno degli *Annali d'Agricoltura e Tecnologia* di Milano. Si vegga anche il mio *Manuale di geometria per le arti e pei mestieri*; edizione del 1832, pag. 171.

782. Si rivolga il prisma in modo che il raggio incidente *sa* sia perpendicolare alla faccia AV del prisma (fig. 62), in tal caso sarà l'angolo d'incidenza $i=o$, e il valore di $n$ della formola precedente si ridurrà ad $n=\frac{sen.\ r'}{sen.\ v}$. Se dunque si misuri esattamente l'angolo d'emergenza $r'$ rappresentato nella figura da *pbr*, e siasi previamente determinato l'angolo rifrangente $v$=AVB del prisma, si calcolerà agevolmente il valore dell'indice di rifrazione $n$. Questo metodo è stato imaginato dal nostro Boscovich ed è vantaggioso per la sua semplicità quando si lavorino i prismi con angoli rifrangenti non molto grandi. Imperciocchè se l'angolo $v$ è maggiore dell'angolo limite, il raggio *sa* pervenuto in $b$ non emergerebbe dal prisma (§. 778).

783. Si è veduto precedentemente (§. 780) che l'angolo di deviazione $d=i+r'-v$, dove $i$, $r'$ sono al solito gli angoli incidente, emergente e $v$ quello rifrangente del prisma: si è veduto altresì che nel caso di deviazione minima risulta $i=r'$ e per conseguenza $d=2i-v$, da cui si è dedotto $i=\frac{1}{2}(d+v)$. Si è pure trovato in tale caso l'angolo di rifrazione $r=\frac{v}{2}$ (§. 780). Siccome è $n=\frac{sen.\ i}{sen.\ r}$; così si avrà, sostituendo, $n=\frac{sen.\ \frac{1}{2}(d+v)}{sen.\ \frac{1}{2}v}$. Si può dunque valutare l'indice $n$ colla sola osservazione della deviazione minima $d$; giacchè l'angolo rifrangente $v$ del prisma è previamente misurato. Di questo metodo ha fatto uso Fraunhofer nella determinazione dell'indice di rifrazione dei differenti raggi componenti la luce bianca, che impareremo a conoscere nella seguente sezione.

Nel far uso di questo metodo per valutare l'indice di rifrazione, è necessario usare ogni diligenza per istabilire la posizione della deviazione minima, cui si giunge dopo alcune prove.

784. Un altro metodo ingegnoso, per la determinazione dell'indice di rifrazione, è fondato sul principio che un raggio luminoso RE, nel passaggio da un mezzo M in un altro N meno rifrattivo (fig. 63), si discosta dalla normale EF, per cui si potrà sempre ingrandire l'angolo d'incidenza del raggio RE in modo che l'angolo di rifrazione SEF diventi un retto. Talchè ingrandendo oltre questo limite l'angolo REG la rifrazione si cambia in riflessione, per cui bisognerà trovare la

giusta posizione del prisma, dove il raggio emergente ES va radente sulla superficie EB di separazione dei due mezzi. Essendo quindi $i$ l'angolo d'incidenza, il quale non può essere ingrandito senza che la rifrazione si cambi in riflessione (§. 773), si avrà: $n = sen.\ i$, per essere il seno dell'angolo retto l'unità. Misurando in qualche modo l'angolo d'incidenza si ha il valore dell'indice $n$. Questo metodo è stato adoperato da Wollaston per determinare l'indice di rifrazione dei liquidi con l'aiuto di prismi solidi di vetro, di cui si conosca l'indice di rifrazione; inoltre esso non può essere usato che pei corpi più rifrangenti dell'aria, affinchè il raggio emergente divenga parallelo alla superficie del prisma. È stato imaginato qualche altro metodo per trovare l'indice di rifrazione, fra i quali quello del *vitrometro* di Boscovich, di cui faremo cenno più avanti.

785. Per determinare l'indice di rifrazione dei liquidi, si forma un prisma cavo con sottili lamine di vetro, le quali abbiano le superficie esattamente fra loro parallele; e in esso si versa il liquido che deve essere posto al cimento. Disposto ciò si procede come si è fatto coi solidi, tenendo però conto della temperatura, che ha grande influenza sul potere rifrattivo dei liquidi alterandone la densità. Il raggio luminoso, attraversando la prima lastra di vetro, entrerà nel liquido parallelamente a se medesimo, ne sarà rifratto ed escirà dall'altra lastra senza cambiare direzione in causa delle lastre di vetro, sapendosi che i mezzi rifrangenti, terminati con tali superficie, sono attraversati da un raggio luminoso per una direzione parallela a quella del raggio incidente (§. 774). La deviazione del raggio luminoso sarà dunque prodotta dal solo liquido, che si trova fra le due lastre e forma un vero prisma liquido. La condizione essenziale si è che le lamine di vetro, componenti il prisma cavo, abbiano le loro superficie esattamente parallele per ottenere dei risultati soddisfacenti.

Il prisma cavo pei liquidi si costruisce anche prendendone uno di vetro ABCDEF, il cui angolo sia smussato se si vuole e formi per tal modo un pezzo prismatico a basi quadrilatere. Si fa in esso un foro che passi dall'una all'altra faccia MN (fig. 64), ed un altro foro *ab* sulla faccia ADEF, che comunichi col vacuo trasversale. Si applica sulle facce due sottili lastre di vetro colle superficie esattamente parallele, che chiudono dalle due parti il foro MN, e si versa pel foro *ab* il liquido, il quale lateralmente terminerà in due facce piane inclinate sotto un angolo eguale a quello del prisma di vetro. Le lastre sono ritenute aderenti alle facce del pezzo di vetro con verghette d'ottone, che si congiungono per mezzo di viti e premono leggermente le lastre di

vetro sul prisma. Il foro *ab* si chiude con un tappo per impedire che il liquido sia lordato da sostanze straniere, e che si volatizzi quando si opera su materie come l'ammoniaca, gli olii essenziali e diversi acidi. Ciò che importa si è che le due facce laterali, ove si pratica il foro MN, siano ben piane e pulite, affine d'aver un esatto combaciamento colle lastre di vetro, che si applicano su di esse.

786. Maggiore complicazione e difficoltà presenta la ricerca dell'indice di rifrazione pei fluidi aeriformi, dovendosi tener conto esatto del potere rifrattivo dell'aria circostante, come pure della pressione e della temperatura. In generale si procede collo stesso metodo dei liquidi, e il prisma cavo deve avere pareti abbastanza robuste per resistere alla pressione atmosferica quando viene vuotato; e deve altresì essere costrutto in maniera da potervi applicare un manometro ed al bisogno anche un termometro. Si è incominciato a determinare l'indice di rifrazione dell'aria, per la quale si potrebbe formare un prisma di questo fluido d'un dato angolo e dirigere il raggio luminoso dal vuoto nel prisma: si è trovato però più facile di procedere all'inverso, col far passare cioè la luce pel prisma vuoto circondato d'aria. Misurando l'angolo d'incidenza del raggio luminoso, quello di emergenza dalla seconda faccia del prisma vuoto, ed inoltre avendo previamente determinato l'angolo di questo prisma, si avrà colla formola superiormente riferita (§. 781), il valore di $n$, il valore cioè dell'indice di rifrazione del passaggio della luce dall'aria nel vuoto, per cui $\frac{1}{n}$ sarà all'inverso quello dell'indice di rifrazione dal vuoto nell'aria (§. 770).

L'apparato di cui hanno fatto uso Arago e Biot in queste delicate sperienze (1), si compone d'un tubo TT di vetro a grosse pareti, le cui estremità sono inclinate fra loro e chiuse con lastre pure di vetro a superficie parallele, le quali lastre prolungate s'incontrerebbero sotto un angolo dato. Le lastre sono diligentemente assicurate con mastice sugli orli del tubo tagliato a sbieco (fig. 65). Il tubo TT è forato al dissotto ed ha applicato saldamente una viera d'ottone con una chiavetta C, per congiungerlo colla macchina pneumatica o collocarlo sopra recipienti, e ciò allo scopo di fare il vuoto nel prisma o d'introdurvi i gas, che si vogliono cimentare. Superiormente al prisma TT è adattato per un altro foro il tubo verticale AB, nel quale si contiene

(1) *Traité de Physique expérimentale et mathématique* par Biot, t. III, pag. 222 e seguenti.

un manometro eguale al barometro a sifone, il cui braccio aperto sia abbastanza lungo per lasciar spazio al mercurio, abbassandosi nell'altro braccio, e per mettersi a livello quando si fa il vuoto nel prisma. L'altezza cui si mette il mercurio in questo barometro è determinata dall'elasticità del gas interno e ne misura la pressione. Per conoscere la temperatura si sospendono due termometri assai sensibili esternamente al prisma e vicinissimi ed anche a contatto colle sue facce, non essendosi creduto d'introdurvi un termometro, perchè, dovendosi prendere di piccole dimensioni, non si avrebbero le frazioni di grado e d'altronde potrebbe essere d'ostacolo al passaggio della luce. La temperatura delle facce, indicata dai termometri, può essere presa, senza errore sensibile, per quella del fluido aeriforme contenuto nel prisma. Tutto l'apparecchio è assestato sopra un largo piede PP perpendicolarmente alla sua lunghezza, e pel quale il prisma è mantenuto in posizione orizzontale.

Conosciuto l'indice di rifrazione dell'aria per rispetto al vuoto nella maniera indicata, s'introduce nell'apparecchio un qualunque gas, oppure si satura lo spazio di vapore, e si ha così l'indice di rifrazione dei diversi fluidi per rispetto all'aria atmosferica, da cui, con un semplicissimo calcolo, si possono ottenere gli indici rispettivi per rapporto al vuoto, come più avanti insegneremo. In questa sorta d'indagini si richieggono degli strumenti i più perfetti per la misura degli angoli di rifrazione, giacchè i fluidi aeriformi sono dotati di pochissimo potere rifrattivo per la loro tenue densità, ed il più piccolo errore nella misura dell'angolo, diventa sensibilissimo nel calcolare il valore dell'indice. Siccome il maggiore piegamento del raggio dipende dalla grandezza dell'angolo rifrangente del prisma; così per averlo sensibile si suole dare al prisma degli aeriformi un angolo rifrangente molto grande, e in quello adoperato da Biot ed Arago era di 143°, 7'. 28". Quando i raggi luminosi passavano dall'aria atmosferica nel vuoto pneumatico del prisma, dove il manometro notava ancora la tensione di metri 0,003, mentre l'aria esterna aveva la temperatura zero ed il barometro segnava met. 0,7664 e l'igrometro 81°, che indica una saturazione quasi completa; il rapporto del seno dell'angolo d'incidenza a quello dell'angolo di rifrazione fu trovato da Arago e Biot di $\frac{3388}{3389}$. Ne risulta quindi che l'indice di rifrazione dell'aria per rispetto a quel vuoto pneumatico, o nel passaggio da questo nell'atmosfera è espresso nelle circostanze suindicate da $\frac{3389}{3388} = 1{,}000295$; che ri-

ferito alla pressione 0, 76 e fatte le correzioni per riguardo al lieve residuo d'aria rimasta nel prisma ed allo stato igrometrico, si è ridotto ad 1,000294.

787. I precedenti metodi hanno servito a determinare l'indice di rifrazione d'un gran numero di materie solide, liquide ed aeriformi, e i valori si sono disposti in quadri o in tavole pei bisogni delle scienze e delle arti, riferiti però al vuoto preso per unità (1). Dato dunque l'indice di rifrazione d'una materia per rapporto al vuoto o ad un mezzo qualunque, importa di saper valutare l'indice di rifrazione della medesima relativamente ad un'altra, di cui è pure dato l'indice per rapporto al vuoto o al mezzo stesso. A tal fine abbiansi due materie M, M', la prima delle quali ha per indice di rifrazione $n$, vale a dire che $n$ è il rapporto dei seni dell'angolo d'incidenza e dell'angolo di rifrazione nel passare la luce dal vuoto o dall'aria o da qualunque altro mezzo in M; e della seconda M' l'indice di rifrazione è $n'$ nelle medesime circostanze. Siano queste materie configurate in lamine piane a superficie parallele e si sovrappongano l'una all'altra in modo da formare il mezzo rifrangente ABCD a facce parallele (fig. 66). Sia altresì SR un raggio di luce, il quale dal vuoto o dall'aria penetra nella lamina M dove, dopo essere rifratto, giunge in $r$ e passa nell'altra lamina M' subendo una seconda rifrazione, indi progredisce e ritorna come prima nel vuoto o nell'aria per $s$O di nuovo rifrangendosi. Se il raggio luminoso ripassasse tosto nell'aria dopo aver attraversato la lamina M, esso ne emergerebbe parallelamente a se medesimo (§. 774); e lo stesso accadrebbe nell'attraversare la lamina M'. Il raggio dunque, entrando in M' tosto che esce da M, deve emergere per $s$O in direzione parallela al raggio incidente SR, e le due lamine riunite, essendo formate da due strati ciascuno a facce parallele ed omogenee, si possono considerare come un mezzo ABCD a facce parallele. Sia pertanto

$\mathrm{SR}p = x$, angolo d'incidenza nel vuoto o nell'aria;

$r\mathrm{R}q = er\mathrm{R} = i'$, il primo angolo di rifrazione nella materia M eguale, per le parallele, al secondo angolo d'incidenza nella medesima;

$srf = gsr = r$, il primo angolo di rifrazione nella materia M' eguale, per le parallele, al secondo angolo d'incidenza nella medesima.

(1) Alla fine di questo volume daremo in una tavola l'indice di rifrazione delle principali materie.

$Osh = y$, angolo di rifrazione ritornando il raggio luminoso nel vuoto o nell'aria.

Per la legge generale della rifrazione si avrà $\frac{sen.\ i}{sen.\ x} = \frac{1}{n}$; $\frac{sen.\ y}{sen.\ r} = n'$.
Dalle quali equazioni, rammentando essere $x = y$ e moltiplicando membro per membro, si ottiene $\frac{sen.\ i}{sen.\ r} = \frac{n'}{n}$; dove $\frac{sen.\ i}{sen.\ r}$ è il rapporto dei seni dei due angoli $erR$, $srf$ d'incidenza e di rifrazione nel passare il raggio dalla materia M nell'altra M', ossia è $\frac{n'}{n}$ l'indice di rifrazione fra queste due materie. Da ciò si deduce che *conosciuti gli indici di rifrazione di due materie per rapporto al vuoto od a qualunque altro mezzo, si ha l'indice della seconda relativamente alla prima espresso dal quoziente degli indici medesimi.* Giova il notare che il rapporto di rifrazione in riguardo al vuoto chiamasi *indice assoluto* e viene dato nelle tavole; mentre quello d'una materia per rispetto ad un'altra dicesi *indice relativo.* La precedente regola potrà per ciò essere annunziata anche in questi termini: *dati gl'indici assoluti di rifrazione di due materie, si ha il loro indice relativo dal quoziente dei due indici assoluti medesimi.*

Per tal modo, essendo 1,336 l'indice assoluto dell'acqua e 1,000294 quello dell'aria, l'indice relativo della prima in confronto della seconda materia è espresso da $\frac{1,336}{1,000294} = 1,3356$. Parimenti l'indice assoluto del vetro è di 1,526 e l'indice del medesimo relativamente all'aria risulta di $\frac{1,526}{1,000294} = 1,52555$. Se vogliasi invece l'indice del vetro rispetto all'acqua, esso sarà espresso da $\frac{1,526}{1,336} = 1,142$.

788. Importa spesso in ottica di conoscere l'andamento d'un raggio luminoso attraverso due prismi fra loro accoppiati. Siano perciò AVB, BVC due prismi di differente materia congiunti per le loro facce e col vertice comune in V (fig. 67), i cui angoli rifrangenti rispettivi si chiamino $v$, $v'$ ed $n$, $n'$ gli indici di rifrazione relativamente all'aria delle materie, che li compongono. Il raggio luminoso, proveniente da S, entra per la faccia AV del primo prisma, si rifrange successivamente ed emerge dalla faccia CV del secondo dirigendosi verso il punto R percorrendo il cammino $SabcR$.

Rappresentiamo con $i$ l'angolo d'incidenza sulla prima superficie AV

e con $r$ quello corrispondente di rifrazione, con $i'$ l'angolo d'incidenza sulla superficie seguente BV e con $r'$ l'angolo analogo di rifrazione, ed infine con $i''$ l'angolo d'incidenza sulla superficie CV e con $r''$ il rispettivo angolo di rifrazione. Essendo noto l'angolo $i$ di prima incidenza, quello di seconda incidenza $i'=90^{\circ}-ab\mathrm{B}$; ma l'angolo $ab\mathrm{B}$, come esterno del triangolo $a\mathrm{V}b$, è eguale all'angolo $ba\mathrm{V}+v=90^{\circ}-r+v$, per cui sostituendo risulta $i'=90^{\circ}-90^{\circ}+r-v$, e quindi $i'=r-v$. Parimente l'angolo di terza incidenza $i''=90^{\circ}-bc\mathrm{C}$(1); ma $bc\mathrm{C}$ è eguale, come esterno, agli angoli $cb\mathrm{V}+v'$, ossia a $90^{\circ}-r'+v'$, per conseguenza sarà $i''=90^{\circ}-90^{\circ}+r'-v'=r'-v'$. Dunque, essendo nota la prima incidenza $i$, la seconda e la terza sono espresse da

$$i'=r-v\,;\ i''=r'-v'. \quad \text{(I)}$$

Ora per avere le rifrazioni $r$, $r'$, $r''$, rammentiamo che, dalla legge generale della rifrazione, si ha $\frac{sen.\ i}{sen.\ r}=n$ per la prima superficie AV nel passare il raggio luminoso dall'aria nel prisma; per la seconda superficie BV, nel transitare dall'uno nell'altro prisma, si ha $\frac{sen.\ i'}{sen.\ r'}=\frac{n'}{n}$ (§. 787); e finalmente per la terza superficie CV, nel ritornare il raggio luminoso dal secondo prisma nell'aria, si ha $\frac{sen.\ i''}{sen.\ r''}=\frac{1}{n'}$. Dalle quali equazioni si hanno i valori seguenti:

$$sen.\ r=\frac{1}{n}.\ sen.\ i\,;-sen.\ r'=\frac{n}{n'}.\ sen.\ i'\,;-sen. r''=n'.\ sen.\ i''\ \text{(II)}.$$

Da quanto si è esposto si deduce che, essendo conosciuti gli indici di rifrazione $n$, $n'$ e noti gli angoli rifrangenti $v$, $v'$ dei due prismi, ed essendosi altresì misurato l'angolo $i$ della prima incidenza, si avranno col calcolo successivo delle equazioni (II) e (I) i valori di $r$; $i'$; $r'$; $i''$; $r''$ e quindi l'andamento S$abc$R del raggio luminoso attraverso i due prismi; vale a dire saranno conosciuti gli angoli $i$, $r$ di prima incidenza e rifrazione, quelli $i'$, $r'$ di seconda incidenza e rifrazione, e infine gli altri $i''$, $r''$ di terza incidenza e rifrazione.

Rischiariamo l'uso delle formole trovate con un esempio. Si abbiano due prismi l'uno di cristallo flinto e l'altro di crovno, i cui angoli rifrangenti siano di 30° pel primo e di 20° pel secondo, sapendosi che

(1) Si noti che $bc\mathrm{C}$ potrebbe essere un angolo ottuso, ed allora in questo come in altri casi bisogna sottrarre da esso 90°; per avere l'angolo d'incidenza, ciò che vie ne avvertito dai dati nelle particolari applicazioni.

gli indici di rifrazione di queste materie per rispetto all'aria sono rispettivamente di 1,60 ed 1,50, ed entri il raggio luminoso inclinato alla prima faccia AV sotto l'angolo di 30°. Si avranno quindi i valori seguenti: $n=1,60$; $n'=1,50$; $v=30°$; $v'=20°$ ed $i=60°$. Dalle formole poi si ha $sen.\ r = \frac{1}{1,60}.\ sen.\ 60°$, ossia $\log.\ sen.\ r=9,9375306-0,20411998$, e dalle tavole logaritmiche $\log.\ sen. r=\log. sen.\ 32°.\ 46'$, e quindi $r=32°.\ 46'$. Dalla formola (I) risulta $i'=32°.46'-30=2°.\ 46'$. Parimenti $sen.\ r' \frac{1,60}{1,50}.\ sen.\ 2°\ 46'$, ossia $\log.\ sen.\ r'=8,6836654+0,02802872$, da cui si trae $\log.\ sen.\ r'=\log.\ 2°\ 57'$, e per conseguenza $r'=2°\ 57'$. Dalla formola (I) risulta $i''=2°.\ 57'-20°=-17°.\ 3'$, il che significa essere l'angolo d'incidenza, nel passaggio dal primo al secondo prisma, parte dell'angolo che fa il raggio colla superficie. Infine $sen.\ r''=1,50.\ sen.\ 17°.\ 3'$, ossia $\log.\ sen.\ r''=0,176091\ 26+9,4671730$, oppure $\log.\ sen.\ r''=\log.\ sen.\ 32°.\ 5'$, per conseguenza $r''=32°.\ 5'$. Dunque il raggio luminoso attraverserebbe i due prismi emergendo sotto l'angolo colla normale di 32° 5'. Nel caso esposto i valori degli angoli per l'andamento del raggio luminoso sono

| | |
|---|---|
| gli angoli di prima . . . | incidenza $i=60°$<br>rifrazione $r=32°.\ 46'$ |
| gli angoli di seconda. . | incidenza $i'=2°.\ 46'$<br>rifrazione $r'=2°.\ 57'$ |
| gli angoli di terza . . . . | incidenza $i''=17°.\ 3'$<br>rifrazione $r=32°.\ 5'$ |

Per trovare la deviazione del raggio luminoso si prolunghi il raggio incidente S$a$ e quello emergente Rc, che, incontrandosi nel punto O, formano l'angolo $h$OS$=d$, dal quale è misurata la deviazione (§. 780). Dal triangolo $ah$O si ha $d=180°-ha\text{O}-ahc$: ma $ha\text{O}=\text{S}a\text{A}=90°-i$, e l'angolo $ahc=\text{V}+hc\text{V}=v+v'+\text{CcR}=v+v'+90°-r''$, per cui sostituendo questi valori risulta $d=180°-90°+i-v-v'-90°+r''$, ossia $d=i+r''-v-v'$. Dunque *l'angolo di deviazione d'un raggio luminoso, che attraversa due prismi, è eguale alla somma dell'angolo d'incidenza e d'emergenza meno gli angoli rifrangenti dei prismi medesimi.* Questo valore dell'angolo di deviazione è analogo a quello che si è trovato per un raggio luminoso, che attraversa un solo prisma (§. 780). Nelle circostanze surriferite sarebbe la deviazione $d=42°\ 5'$. Si può verificare questo risultato seguendo il raggio luminoso in ogni piegamento della direzione primitiva S$ao$: esso si discosta dall'angolo $bao=i-r=27°.\ 14'$; da questa nuova direzione devia di nuovo della

quantità $i'-r'=-11'$, che riuscendo negativa bisogna sottrarre e per conseguenza rimane 27° 3' di deviazione dal raggio primitivo $Sao$; finalmente si allontana di nuovo di $r''-i''=15°.2$: per cui ha deviato in totalità di $27°.3+15°.2'=42°.5$ come si è trovato.

789. Col mezzo della formola superiormente trovata (§. 781) potendosi avere il valore dell'indice di rifrazione, si ottiene pei piccoli angoli, sostituendo ai seni gli archi corrispondenti,

$n=\frac{\sqrt{(i^2+r'^2+2ir')}}{v}=\frac{i+r'}{v}$; ossia $nv=i+r'$ pel primo prisma dei due accoppiati, e pel secondo $n'v'=i'+r''$. Ora la deviazione $d'$ prodotta dal primo prisma è $d'=i+r'-v$ (§. 780), e quella $d''$ prodotta dal secondo è $d''=i'+r''-v'$. Per conseguenza la deviazione totale $d=d'+d''$ sarà $d=i+r'-v+i'+r''-v'$; e sostituendo ad $i+r'$ come pure ad $i'+r''$ i valori trovati risulta $d=nv-v+n'v'-v'$, ossia $d=v(n-1)+v'(n'-1)$. Questo valore della deviazione è eguale ad una quantità positiva; perciocchè in tutti i prismi di vetro l'indice $n$ è maggiore dell'unità. Se quindi si volessero unire due specie di prismi, affinchè la deviazione fosse nulla, ossia il raggio emergente riuscisse parallelo a quello incidente, bisognerebbe capovolgere uno dei medesimi e fare diventare così negativo il suo angolo rifrangente. Si avrebbe allora, nel caso di $d=o$, $v(n-1)=v'(n'-1)$ e quindi $v:v'::n'-1:n-1$. Riunendo due prismi l'uno di crovno e l'altro di flinto cogli angoli contrapposti, che hanno rispettivamente gli indici di rifrazione $n=1{,}60$, $n'=1{,}50$, per avere $d=o$ ossia il raggio emergente parallelo a quello incidente, bisognerebbe prenderli di angoli rifrangenti $v$, $v'$ nel rapporto di $v:v'::50:60$, ossia nel rapporto di $5:6$. Per un prisma dunque di flinto dell'angolo rifrangente di 15° accoppiato con uno di crovno di 18° e coi vertici contrapposti, i raggi di luce emergerebbero parallelamente a quelli incidenti.

La sostituzione degli archi ai seni degli angoli nei prismi può condurre a rilevanti errori, quando gli angoli stessi abbiano una certa grandezza; perciò tale sostituzione vale entro limiti assai ristretti, nei quali gli angoli, per la loro picciolezza, si possono ritenere quantità costanti. Infatti dalle equazioni (I) (II) del precedente paragrafo si ottiene, secondo questa ipotesi, $r=\frac{i}{n}$; $i'=\frac{1}{n}-v=\frac{i-nv}{n}$;

$r'=\frac{n}{n'}\cdot\frac{1-nv}{n}=\frac{i-nv}{n'}$; $i''=\frac{i-nv}{n'}-v'=\frac{i-nv-n'v'}{n'}$; ed infine

$r''=n'\cdot\frac{i-nv-n'v'}{n'}=i-nv-n'v'$. Ora si è trovata la deviazione

$d = i + r'' - v - v'$ (§. 788), da cui, sostituendo il valore di $r''$, si ha $d = 2i - nv - n'v' - v - v' = 2i - v(n+1) - v'(n'+1)$. Eguagliando questo valore di $d$ coll'altro precedentemente trovato in questo paragrafo nella stessa ipotesi, si ha $2i - v(n+1) - v'(n'+r) - v(n-1) + v'(n'-1)$, da cui si deduce $i = nv + n'v'$, che è una quantità costante.

790. Ora che si conosce la maniera di determinare l'indice di rifrazione $n$ fra due mezzi, potremo mostrare ciò che si è altrove accennato (§. 771), di delineare cioè l'andamento d'un raggio luminoso attraverso un prisma o due prismi. Si abbia il prisma di vetro ABV e vogliasi delineare l'andamento del raggio luminoso S$a$ attraverso del medesimo (fig. 68), sapendosi che l'indice di rifrazione del vetro per rispetto all'aria è $n = \frac{3}{2}$. Si conduca pel punto $a$ la normale $mn$ al lato AV del prisma, e facendo centro in $a$ con un raggio qualunque, si descriva un circolo. Dal punto d'intersezione $e$ si abbassi sopra $mn$ la perpendicolare $ef$, che sarà il seno dall'angolo d'incidenza S$am$. Si divida $ef$ in tre parti eguali e si porti la retta $gh$, eguale a due delle medesime, perpendicolare ad $mn$ in modo che con uno dei suoi estremi si appoggi sulla stessa $mn$ e con l'altro cada sulla periferia del circolo. Siccome $gh$ rappresenta il seno dell'angolo di rifrazione; così condotta pei punti $a$, $g$ la retta $ab$ darà questa l'andamento del raggio luminoso e sarà $ban$ l'angolo di rifrazione. Si eseguisca una costruzione consimile nel punto $b$, innalzando per esso la perpendicolare $pq$ all'altro lato BV del prisma e descrivendo con un raggio qualunque il cerchio col centro in $b$. Dove la periferia interseca in $c$ il raggio rifratto $ab$, si abbassi sopra $pq$ la perpendicolare $cd$, che si dividerà in due parti eguali. La linea $rt$ di tre di queste parti si porti perpendicolare a $pq$ in modo che termini alla periferia del circolo. Sarà $rt$ il seno dell'angolo di rifrazione $pbr$ nell'aria, mentre $cd$ è quello dell'angolo d'incidenza $qbc$ nel vetro, e però $b$R sarà la direzione del raggio emergente. La linea spezzata S$ab$R indicherà dunque l'andamento del raggio luminoso nel suo cammino dell'aria attraverso il vetro per ritornare nell'aria.

Per delineare l'andamento d'un raggio luminoso attraverso due prismi accoppiati si procederà nella stessa maniera, sia servendosi del rapporto dei seni, sia trovando gli angoli corrispondenti colle formole precedentemente dimostrate (§. 788).

791. Tutte le materie solide, liquide ed aeriformi sono dotate di differente indice di rifrazione. Per dimostrare nella scuola che l'indice di rifrazione varia al variare la natura delle materie, serve il *polipri-*

*sma pei solidi* ed il *poliprisma pei liquidi*. Il primo si compone di tanti piccoli prismi di diverse materie della lunghezza ciascuno di circa centim. 2,5 riuniti assieme con mastice in modo da formare come un solo prisma. Tutti i piccoli prismi hanno così l'eguale angolo rifrangente e non differiscono che nella natura della materia di cui si compongono. Il poliprisma è assicurato sopra un piede di sostegno nello stesso modo dei prismi semplici (§. 775). Introducendo un raggio luminoso nella camera oscura, si fa esso cadere successivamente sui prismetti del poliprisma, ed osservando le deviazioni che subisce nell'attraversare queste differenti materie, si trova che diversificano l'una dall'altra. Il poliprisma pei solidi è formato ordinariamente di prismetti di differenti cristalli e vetri come *flinto, crovno, vetro comune, vetro verde, vetro di bottiglia* e simili. Il poliprisma pei liquidi consiste in una specie di truogo triangolare formato di lastre di vetro a superficie parallele, e diviso con lastre triangolari in parecchi compartimenti ciascuno della lunghezza di circa cent. 2,5. Il truogo così formato è assestato sopra un piede come il prisma della fig. 55. Si versano in ciascun compartimento i differenti liquidi, come *acqua pura, acqua salata, aceto, alcoole, olio d'olive* e simili, che si fanno successivamente attraversare dal raggio luminoso, e si trova pei liquidi nominati che l'acqua salata è più rifrangente di quella pura, l'aceto di più dell'acqua salata, l'alcoole di più dell'aceto, e così dell'olio di ulive per rispetto all'acoole e di altri che si possono scegliere di differente indice dei sunnominati.

792. Nel sistema dell'emissione si fa dipendere la rifrazione da una forza o potenza propria del corpo trasparente e che si è chiamata per ciò *forza* o *potenza rifrattiva*. Questa forza è legata o dipendente dall'indice di rifrazione e si è trovata espressa per ogni materia dal quadrato dell'indice rispettivo di rifrazione diminuito dell'unità, ossia eguale $n^2-1$. Nel sistema delle ondulazioni questa medesima quantità dipende dai diversi gradi di condensazione dell'etere; talchè, secondo tale sistema, le onde luminose, nell'attraversare i mezzi rifrangenti, provano un ritardamento, mentre in quello dell'emissione si è obbligato a supporre che la luce aumenti la sua velocità nel passare in mezzi dotati di maggior forza rifrattiva. Vedremo più avanti come l'esperienza abbia deciso questa discrepanza delle due ipotesi.

L'indice di rifrazione dell'acqua è di 1,336 e quello del cristallo crovno di 1, 534, per cui essendo i rispettivi quadrati 1,785 e 2,353, si avrà per la forza rifrattiva dell'acqua $n^2-1=1,785-1=0,785$ e per quella del crovno $n^2-1=2,353-1=1,353$. I numeri 0,785 ed

1,353 esprimono la *forza assoluta* o per riguardo al vuoto; ma per avere la forza relativa bisogna operare come si è fatto dell'indice relativo (§. 787): così dividendo 1,353 per 0,785 si ha per quoziente 1,724, che rappresenta la forza rifrattiva del crovno relativamente all'acqua.

L'espressione $n^2-1$ dinota la forza rifrattiva di ciascuna materia. Siccome poi nello stesso corpo essa cresce colla densità e viceversa; così si è chiamato *potere rifrangente specifico* la forza rifrattiva divisa per la densità, cioè $\frac{n^2-1}{d}$ essendo $d$ la densità del corpo. La forza rifrattiva del crovno è 1,724 e la sua densità 2,40, il potere rifrangente del medesimo risulta $\frac{1,724}{2,40}=0,718$. La densità dell'acqua essendo espressa dall'unità il potere rifrangente specifico di essa riuscirà 0,785. Prendendo per unità il potere rifrangente dell'acqua, allora quello del crovno relativamente a questo liquido sarà $\frac{0,718}{0,785}=0,915$; per cui *il potere rifrangente relativo* del crovno è di 0,915, mentre il suo *potere assoluto* risulta di 0,718.

Nella seguente tavola presentiamo la forza rifrattiva e il potere rifrangente assoluto di alcuni corpi solidi e liquidi aggiungendovi l'indice rispettivo di rifrazione.

TAVOLA *della forza rifrattiva e del potere rifrangente specifico di alcuni corpi solidi e liquidi in riguardo al vuoto.*

| | *Indice di rifrazione* | | *Forza rifrattiva* | | *Potere rifrangente specifico* |
|---|---|---|---|---|---|
| Spato fluoro . . . . | 1,436 | — | 1,062 | — | 0,343 |
| Quarzo. . . . . . | 1,548 | — | 1,396 | — | 0,541 |
| Acido solforico . . . | 1,434 | — | 1,056 | — | 0,612 |
| Acido nitrico . . . . | 1,406 | — | 0,977 | — | 0,668 |
| Acqua . . . . . . . | 1,336 | — | 0,785 | — | 0,785 |
| Alcoole . . . . . . | 1,372 | — | 0,882 | — | 1,012 |
| Cromato di piombo . . | 2,974 | — | 7,845 | — | 1,044 |
| Nitrato di potassa . . | 1,514 | — | 1,292 | — | 1,196 |
| Canfora . . . . . . | 1,487 | — | 1,211 | — | 1,255 |
| Olio d'ulive . . . . | 1,470 | — | 1,161 | — | 1,261 |
| Cera . . . . . . . | 1,450 | — | 1,103 | — | 1,331 |
| Diamante . . . . . | 2,439 | — | 4,949 | — | 1,456 |
| Solfo . . . . . . | 2,148 | — | 3,614 | — | 2,200 |
| Fosforo . . . . . | 2,224 | — | 3,946 | — | 2,886 |

Newton, avendo trovato che gli olii, la cera, alcune resine ed altre materie combustibili erano dotate di gran potere rifrangente specifico, fu indotto a conchiudere che l'acqua e il diamante per somigliante proprietà avessero per componente qualche principio combustibile. Le sue congetture furono avverate, mentre ora si sa che il diamante altro non è che puro carbonio, e che l'acqua contiene l'idrogeno il migliore combustibile. Inoltre il solfo ed il fosforo vengono ad estendere quell'idea.

I corpi solidi e liquidi cambiano l'indice di rifrazione in causa d'un cambiamento di densità, tanto in virtù d'una variazione di temperatura, quanto in causa d'azioni mecaniche ; ma il loro potere rifrangente sembra che rimanga costante sinchè il corpo non passa allo stato aeriforme. L'acqua però presenta a questo riguardo un fenomeno singolare. Sappiamo che, misurando direttamente i volumi occupati dalla medesima quantità d'acqua che si raffredda, si trova dapprima che questa massa si condensa come gli altri corpi e poscia, a partire da 4° centesimali, si dilata sempre più sino al suo congelamento. Un tal punto singolare di temperatura è conosciuto sotto la denominazione di *massima densità dell'acqua*, ed a partire da esso questo liquido si dilata tanto che si riscaldi quanto che si raffreddi. La rifrazione però dell'acqua, secondo le sperienze d'Arago, continua sempre nel medesimo verso a misura che la temperatura s'innalza da zero a 6° (1).

Arago e Biot, nelle loro sperienze per determinare l'indice di rifrazione dei diversi gas (§. 786), hanno trovato che *le forze rifrattive d'un gas, preso a diverse densità, sono proporzionali alle densità medesime*, per cui *il potere rifrangente specifico d'un gas rimane costante a qualunque pressione e temperatura.* Alloraquando i gas non abbiano fra loro affinità, si trova del pari che *la forza rifrattiva del miscuglio eguaglia la somma delle forze rifrattive dei fluidi, di cui il miscuglio medesime è formato.* Imperciocchè, quando i gas entrano in combinazione e formano dei composti e non dei miscugli, si trova, dalle sperienze di Dulong, che la forza rifrattiva del corpo risultante cessa di essere eguale alla somma di quelle dei singoli componenti.

Dulong nelle sue indagini si serviva d'un metodo ingegnoso, il quale consisteva nel dare ai differenti gas la densità conveniente a produrre in tutti la medesima deviazione della luce, da cui deduceva la forza rifrattiva. Introduceva, per esempio, nel prisma pei fluidi elastici (§. 786) l'aria atmosferica ben secca alla pressione ordinaria

(1) Vedi *Annali di Fisica* ecc., seconda serie. t. III, pag. 175.

e ad una temperatura data, e con un buon cannocchiale osservava a traverso il prisma la deviazione dell'imagine d'un oggetto fisso distante. Lasciato il cannocchiale in tale posizione, vuotava il prisma e vi introduceva un altro gas, per esempio, l'acido carbonico, variando la pressione al punto che l'imagine dello scopo fisso, prodotta dalla luce rifratta pel prisma, venisse di nuovo veduta per mezzo del cannocchiale, essendo la temperatura rimasta la medesima. Abbiasi trovata la pressione dell'acido carbonico nel prisma di 0,498, rifrangendo esso così la luce come l'aria sotto la pressione ordinaria di 0,760; per cui i due fluidi in tali circostanze hanno il medesimo indice di rifrazione e quindi eguale forza rifrattiva. Siccome poi le forze rifrattive stanno come le pressioni, che misurano le densità dell'acido carbonico allo stato dell'esperienza ed a quello ordinario; così chiamando $x$ la forza rifrattiva allo stato ordinario mentre quella nell'altro stato eguaglia la forza rifrattiva dell'aria detta 1, si avrà $0,498 : 0,760 :: 1 : x = 1,526$, per cui 1,526 risulta la forza rifrattiva dell'acido carbonico alla pressione ordinaria in confronto di quella dell'aria detta 1. Per ottenere le forze rifrattive assolute $y$ da quelle relative $f$ all'aria avute in tal maniera dall'esperimento, importa rammentare, quanto si è detto precedentemente, che la forza relativa di una materia per rispetto ad un'altra è eguale a quella assoluta della stessa materia divisa per quella pure assoluta dell'altra. Per conseguenza chiamando $a$ la forza rifrattiva assoluta dell'aria, si avrà $\frac{y}{f} = a$, da cui si ha $y = af$. Dunque per ottenere le forze rifrattive assolute dei gas da quelle relative determinate coll'esperienza, non si ha altro che a moltiplicare queste forze relative per quella assoluta dell'aria. Ora l'indice assoluto di rifrazione dell'aria si è trovato eguale a 1,000294 (§. 786), per cui la sua forza rifrattiva assoluta $n^2-1$ risulta di 0,000589. Per avere dunque le forze rifrattive assolute dei gas sperimentati basterà moltiplicare per 0,000589 ciascuna forza relativa trovata; e conosciuta la forza rifrattiva $n^2-1$ non si ha altro che aggiungervi l'unità ed estrarre la radice quadrata per aver l'indice di rifrazione. Ecco nella seguente tavola la forza rifrattiva assoluta di alcuni fluidi aeriformi, a cui si è unito l'indice di rifrazione, e la densità di ognuno di essi, con cui si avrà facilmente il loro potere rifrangente specifico.

Tavola *della forza rifrattiva d'alcuni fluidi aeriformi alla temperatura zero e sotto la pressione di* $0^m76$.

| | *Indice* | | *Forza* | | *Densità* |
|---|---|---|---|---|---|
| Aria atmosferica . . . | 1,000294 | — | 0,000589 | — | 1,000 |
| Ossigeno . . . . . . | 1,000272 | — | 0,000544 | — | 1,106 |
| Idrogeno . . . . . | 1,000138 | — | 0,000277 | — | 0,069 |
| Azoto . . . . . . . | 1,000300 | — | 0,000600 | — | 0,971 |
| Cloro . . . . . . . | 1,000772 | — | 0,001545 | — | 2,470 |
| Acido carbonico . . . | 1,000449 | — | 0,000899 | — | 1,529 |
| Acido cloridrico . . . | 1,000449 | — | 0,000899 | — | 1,254 |
| Deutossido d'azoto . . | 1,000303 | — | 0,000606 | — | 1,039 |
| Solfo carburato . . . | 1,001500 | — | 0,003010 | — | 2,644 |
| Ammoniaca . . . . | 1,000385 | — | 0,000771 | — | 0,591 |
| Acido solforoso . . . | 1,000665 | — | 0,001331 | — | 2,247 |
| Idrogeno solforato . . | 1,000644 | — | 0,001288 | — | 1,178 |
| Idrogeno protofosforato . | 1,000789 | — | 0,001579 | — | 1,256 |
| Etere solforico . . . | 1,001530 | — | 0,003061 | — | 2,580 |
| Etere muriatico . . . | 1,001095 | — | 0,002191 | — | 2,234 |
| Acqua . . . . . . | 1,336000 | — | 0,785000 | — | 770,000 |
| Vuoto . . . . . . . | 1,000000 | — | —— | — | —— |

Le forze rifrattive, che prende lo stesso gas a differenti densità, riescono bensì proporzionali alle densità medesime, ma quelle di due gas non hanno verun rapporto colle densità rispettive. Dalla tavola infatti si apprende che l'ossigeno, mentre ha minor forza rifrattiva dell'azoto, ha al contrario maggior densità di questo gas. L'acido carbonico, che ha egual forza rifrattiva dell'acido cloridrico, è dotato invece di maggiore densità. In generale non si scopre verun rapporto fra le forze rifrattive e le rispettive densità; per cui la forza rifrattiva a pari densità, o il potere rifrangente specifico, si attiene alla natura chimica di ciascuna materia, giacchè questo si riscontra anche nei corpi solidi e liquidi. In generale si è trovato che le materie combustibili, o che nei loro elementi entra qualche combustibile, riescono i corpi dotati di maggior potere rifrangente specifico. Si è veduto che il diamante, formato di puro carbonio, il solfo ed il fosforo, mentre primeggiano fra i corpi combustibili, riescono anche i corpi dotati di maggior potere rifrangente specifico. Dei fluidi aeriformi, l'idrogeno è il corpo che possiede il più grande poter rifrangente specifico. Infatti la sua forza rifrattiva è 0,000277 e il suo poter rifrangente spe-

cifico risulta quindi di 0,0040145, che supera di molto quello di qualunque altro fluido aeriforme. Per metterlo a confronto coi solidi e coi liquidi, bisogna ridurlo all'unità di densità di questi corpi moltiplicandolo per 770, essendo l'acqua 770 volte più densa dell'aria. Il poter rifrangente specifico 0,0040145 dell'idrogeno per rapporto all'aria, diventa riferito all'acqua di 3,091165, che supera ben anche quello del solfo e del fosforo. Questa proprietà dell'idrogeno si manifesta in quelle materie dove entra come componente, tali sono l'acqua, l'alcoole, gli olii, la cera e simili.

Dalla tavola si deduce, quanto si è detto precedentemente, che la forza rifrattiva d'un miscuglio eguaglia la somma di quelle dei suoi elementi. L'aria atmosferica infatti si compone di parti 0,2081 d'ossigeno e 0,7919 d'azoto (§. 726): ora parti 0,2081 della forza rifrattiva dell'ossigeno sono 0,00011321 e parti 0,7919 di quella dell'azoto sono 0,00047514, che sommate assieme danno 0,00058835 per la forza rifrattiva del miscuglio, la quale con molta approssimazione eguaglia la forza rifrattiva 0,000589 dell'aria atmosferica. In generale, chiamando $v'$, $v''$ i volumi di due elementi; $r'$, $r''$ le loro forze rifrattive, ed $r$ la forza rifrattiva del miscuglio il cui volume è $v'+v''=1$: si ha la relazione $(v'+v'')\ r=v'r'+v''\ r''$ dove $v'+v''=1$. Da questa relazione generale si può avere eziandio il rapporto delle quantità dei due elementi data la forza rifrattiva del miscuglio e degli elementi medesimi. Infatti, dalle due precedenti equazioni eliminando $v''$ si ottiene $v'=\frac{r-r''}{r'-r''}$, ed eliminando $v'$ si ha $v''=\frac{r'-r}{r'-r''}$. Per l'aria atmosferica è la forza rifrattiva $r=0{,}000589$, mentre quella dell'azoto $r'=0{,}0006$, e dell'ossigeno $r''=0{,}000544$: sarà perciò la quantità d'azoto $v'=\frac{0{,}000589-0{,}000544}{0{,}0006-0{,}000544}$ ossia $v'=0{,}80357$, e la quantità d'ossigeno $v''=\frac{0{,}0006-0{,}000589}{0{,}0006-0{,}000544}$, ossia $v''=0{,}19643$. Le quali quantità differiscono di poco da quelle trovate direttamente coll'esperienza (§. 726).

Una tale proprietà si riscontra nei semplici miscugli, ma nei composti, dove gli elementi si uniscono per affinità, la legge non ha più luogo. Prendiamo ad esempio il deutossido d'azoto, il quale è formato di $\frac{1}{2}$ volume d'azoto e di altrettanto ossigeno, e le parti delle loro forze rifrattive darebbero per somma 0,000572 che è soltanto quasi la metà della forza rifrattiva 0,001007 dello stesso deu-

tossido. Bisogna però tener conto della condensazione; giacchè $\frac{1}{2}$ volume d'azoto con $\frac{1}{2}$ volume d'ossigeno darebbero un miscuglio della densità di 1,0385 mentre il deutossido ha la densità di 1,039, che differisce di poco da quella del semplice miscuglio e non porta quindi differenza sensibile nella forza rifrattiva. Infatti sappiamo che per lo stesso gas le forze rifrattive sono proporzionali alle densità e si verifica la proporzione 1,0385 : 1,039 : : 0,000572 : $x$=0,00057227, forza rifrattiva del miscuglio ridotto a pari densità del deutossido; la quale forza non differisce sensibilmente dalla primitiva, ma molto da quella del deutossido. Un esempio luminoso di tale verità si ha nell'acqua, che si compone di $\frac{2}{3}$ in volume d'idrogeno e di $\frac{1}{3}$ d'ossigeno (§. 727). Il miscuglio dei due gas in questa proporzione avrebbe la densità di 0,415 e la forza rifrattiva di 0,000366; mentre il composto che somministra l'acqua ha per densità 770 e per forza rifrattiva 0,785. Ridotto il miscuglio gazoso alla densità dell'acqua, esso avrebbe per forza rifrattiva 0,679; che differisce di molto da quella dell'acqua.

Diremo infine che una materia qualunque allo stato liquido è dotata di maggior potere rifrangente specifico che a quello aeriforme: così l'acqua ha maggior potere rifrangente del vapor acqueo; un etere qualunque allo stato di liquidità è dotato di maggior rifrangibilità del suo vapore. Un fluido aeriforme, al momento che viene liquefatto, tanto in causa di diminuzione di temperatura quanto in virtù della compressione, manifesta maggiore rifrangibilità.

793. Passiamo a considerare la luce, che passa in mezzi trasparenti terminati da superficie curve. Queste superficie si compongono di punti, che per gli atomi eterei diventano altrettanti piani, la cui posizione viene stabilita dalle tangenti, che si conducono a ciascun punto della curva secondo le regole della geometria. I cambiamenti di direzione, che subiscono i raggi luminosi nell'entrare in un nuovo mezzo terminato da superficie curva, si dimostrano nelle scuole coll'esperienza istituita mediante la *cassetta parallelipeda* ABCD (fig. 69), le cui facce maggiori ADE, BCF sono fatte di lastre di vetro a superficie parallele e le minori AB, CD di metallo o di legno annerito per escludere l'influenza d'ogni luce riflessa. Queste ultime hanno nel loro mezzo un'apertura circolare M, N, in ognuna delle quali è saldato con mastice un sottile vetro curvo somigliante a quelli degli

orologi da tasca, che ha rivolta esternamente in una AB la convessità nell'altra CD la concavità. La cassetta si riempie quasi interamente d'acqua e si dispone nella camera oscura in modo che i raggi solari paralleli, introdotti col portaluce, cadano sopra il vetro applicato ad una delle pareti opache. Se la luce passa dall'aria nell'acqua per la superficie convessa del foro della parete AB, si vedono i raggi solari nell'acqua convergere gli uni verso gli altri ed intersecarsi in un punto formando un cono luminoso, che ha il vertice nell'acqua medesima, e da quel punto progrediscono divergenti formando un cono rovesciato. La ragione è chiara: i raggi paralleli, entrando in un mezzo più rifrangente, devono accostarsi alle normali del piano tangente a ciascun punto d'immersione, le quali normali partono tutte dal centro di sfericità, e i raggi luminosi, accostandosi a queste normali, acquistano essi pure un certo grado di convergenza e vanno per tal modo ad intersecarsi ed a riunirsi in una certa distanza dalla superficie rifrangente. Se i raggi entrano nell'acqua per la superficie concava del foro della parete CD, essi da paralleli diventano divergenti e si allargano dentro il liquido in uno spazio maggiore formando un cono, la cui base è situata nel liquido medesimo. Le normali ai piani tangenti alla superficie concava partono dal centro di curvatura posto al di fuori della cassetta, per cui esse nell'acqua sono divergenti, e i raggi luminosi, accostandosi a queste normali, riescono pure divergenti e danno luogo nel liquido al cono di luce rovesciato. Gli effetti risulterebbero all'inverso se il fluido, di cui è riempiuta la cassetta, fosse un mezzo meno rifrangente dell'aria da cui escono.

Da questo esperimento si raccoglie in generale che i raggi luminosi paralleli possono diventare convergenti o divergenti nel passare da uno in altro mezzo terminato in superficie curva, secondo che questa è convessa o concava e secondo che il nuovo mezzo è più o meno rifrangente del primitivo.

794. La curvatura della superficie del corpo diafano può essere di differente specie; quella usata però è la sferica, perchè sotto questa curvatura si riducono e si lavorano facilmente i corpi trasparenti ad uso della scienza e degli apparati ottici. Il corpo diafano, terminato da una sola o da ambedue le parti in superficie sferica, ha ordinariamente la forma circolare e prende il nome di *lente*. In generale però intendesi per lente qualunque vetro o corpo diafano terminato da due superficie ben liscie l'una delle quali almeno sia curva, la quale d'ordinario è la sferica. Le lenti hanno la proprietà di aumentare o di diminuire la divergenza naturale dei raggi d'un punto luminoso, dai quali sono attraversate.

Le lenti sferiche possono avere ambedue le superficie convesse, oppure ambedue concave, ed anche l'una convessa o concava e l'altra piana, ed infine l'una convessa e l'altra concava con maggiore curvatura della prima o della seconda. Si vede quindi che si hanno le seguenti sei specie di lenti, rappresentate nella figura 70.

I. *Lente convesso-convessa* o *lente biconvessa* A; II. *Lente piano-convessa* B; III. *Lente concavo-convessa* o *menisco convergente* C, dove la convessità ha maggiore curvatura; IV. *Lente concavo-concava* o *lente biconcava* D; V. *Lente piano-concava* E; VI. *Lente convesso-concava* o *menisco divergente* F, dove la concavità ha maggior curvatura. Dalla forma della prima specie, somigliante al legume dello stesso nome, hanno ricevuto la denominazione tutte le altre, le cui superficie curve appartengono, come si disse, a segmenti di sfera, ma che potrebbero però essere di qualunque altra curva come l'elittica, la parabolica ecc., con che si avrebbero le *lenti elittiche, paraboliche* ecc.

Sia AB la sezione d'una lente biconvessa (fig. 71), le cui superficie appartengono a segmenti di sfere, che hanno i loro centri in C, $c$: la retta D$d$, condotta per questi centri, taglia per mezzo le due superficie e chiamasi *asse della lente*. Nella lente concava prende egualmente il nome d'*asse* la retta che passa pei centri delle due superficie sferiche e l'attraversa (fig. 72). Lo stesso è delle lenti concavo-convesse e convesso-concave. Per le lenti piano-convesse e piano-concave l'*asse* è la perpendicolare abbassata dal centro della superficie curva sulla superficie piana, che forma l'altra faccia. Nella fig. 70 la retta GH, che passa pei centri delle sfere cui appartengono le superficie curve ed è perpendicolare alle superficie piane, è l'asse comune a tutte quelle lenti. Nella grossezza della lente si trova un punto O pel quale, conducendo una retta alle due facce, queste sono incontrate in due punti dove i piani tangenti riescono paralleli: un tal punto chiamasi *centro ottico* della lente. È chiaro, da quanto si è detto altrove (§. 774), che tutti i raggi di luce, i quali, nell'attraversare la lente, passano per un tal punto, ne emergono prendendo una direzione parallela a quella che avevano prima di entrare nella lente, e per conseguenza passano irrifratti. Dicesi poi *centro geometrico* o *centro di curvatura* o di *sfericità* il centro di ciascuna delle sfere, cui rispettivamente appartengono le superficie curve della lente. Quando il centro ottico trovasi sull'asse, allora si ha la *lente centrata*, che costituisce, come vedremo, una proprietà essenziale per gli usi ottici. La lente centrata dicesi anche *regolare,* giacchè tutte le sue parti sono euritmetiche intorno al suo asse. Qui intendiamo parlare soltanto di lenti centrate, per essere

attraversate dalla luce secondo leggi determinate e fisse. L'eguale grossezza del contorno indica una tale proprietà, quando la lente è stata uniformemente lavorata; ma un indizio più sicuro d'essere essa centrata e regolare si ha dal non cambiare menomamente di posizione gli oggetti che si guardano attraverso alla medesima, mentre la si rivolge in un piano perpendicolare intorno all'asse. Congiungendo con una retta, che passi per l'asse, due punti del contorno della lente, si ha la linea che chiamasi *diametro* della lente medesima. Questo diametro non si deve confondere con quello della sfera, cui appartengono l'una o l'altra superficie della lente. Si dice poi *apertura* della lente l'angolo che formano due rette condotte dal centro di curvatura all'estremità del diametro della lente. Nell'applicare le lenti agli stromenti ottici, si suole coprirne il contorno con un anello opaco per escludere i raggi troppo obliqui all'asse. In tal caso il diametro dell' anello diventa quello della lente, e l'angolo, che fanno due rette condotte al centro geometrico dall'estremità di questo diametro, ne costituisce l'apertura.

La *faccia* o *superficie anteriore* della lente è quella rivolta verso l'oggetto luminoso od illuminato; mentre l'altra superficie, cui si applica l'occhio o verso la quale si colloca l'osservatore, dicesi *faccia* o *superficie posteriore*.

Nella lente biconvessa AB (fig. 71), essendo *ce, ch* i raggi della sfera corrispondente alla faccia anteriore prolungati verso *p*, *q*, ed inoltre *fe*, *gh* due fasci luminosi incidenti, questi formano gli angoli d'incidenza *fep*, *ghq*; giacchè le rette *cp*, *cq*, come raggi prolungati, riescono perpendicolari alla superficie anteriore della lente e rappresentano le normali. La luce, penetrando nella lente, si rifrange sotto gli angoli *mec*, *nhc*, ed emergendo pei punti *m*, *n* si rifrange di nuovo sotto gli angoli *cmp'*, *cnq'* colle normali C*p'*, C*q'*, che sono il prolungamento dei raggi di curvatura C*m*, C*n* della faccia posteriore.

Nella lente biconcava AB (fig. 72) i fasci luminosi incidenti *fe, gh* fanno coi raggi di curvatura *ce*, *ch* della faccia anteriore, che rappresentano le normali, gli angoli d'incidenza *fec*, *ghc*; e penetrando nella lente gli angoli di rifrazione *mep*, *nhq*, ed infine emergono sotto gli angoli di rifrazione C*ms*, C*nt* colle normali rappresentate dai raggi di curvatura C*m*, C*n* della faccia posteriore.

In ognuna delle due specie di lenti (figg. 71 e 72) il raggio diretto secondo l'asse D*d* della lente passa irrifratto pel centro ottico O.

795. Quando si espone al sole una lente convessa AB (fig. 71) in modo che col suo asse *d*D sia rivolta verso il centro di quell'astro, i

raggi solari, come *fe*, *gh*, riescono paralleli all'asse e, rifratti dalla lente, vengono ad intersecarsi dalla parte opposta in un piccolo spazio F, dove si riuniscono e formano una piccolissima e vivissima imagine del sole. Le materie combustibili poste in quello spazio sono riscaldate ed abbruciano, ed è per ciò che si chiama esso il *fuoco della lente*. L'intervallo FO fra il fuoco e il centro ottico prende, a somiglianza degli specchi (§ 762), il nome di *distanza focale*. Il fuoco dei raggi luminosi paralleli nelle lenti biconvesse fatte di vetro cade molto vicino al centro di curvatura, come più avanti apprenderemo. È all'appoggio di tale proprietà che si costruiscono le *lenti ustorie* od *ardenti*, delle quali faremo conoscere gli effetti trattando del calorico. Rivolgendo nello stesso modo l'altra faccia della lente verso il sole, si ha l'egual fenomeno; per cui una lente biconvessa ha due fuochi, l'uno *anteriore*, e l'altro *posteriore*.

Presentando nell'egual maniera al sole una lente biconcava AB (fig. 72), la luce l'attraversa senza concentrarsi in un piccolo spazio, ed anzi ne emerge coi raggi luminosi divergenti diffondendosi in uno spazio maggiore. Ponendosi coll'occhio dalla parte della faccia posteriore, apparisce da quella opposta uno spazio F lucente, da cui sembrano provenire i raggi luminosi, che, dopo aver attraversato la lente, giungono all'occhio. Questo piccolo spazio è il *fuoco della lente* biconcava, il quale è virtuale, a differenza di quello reale della lente biconvessa, e cade dalla parte della faccia anteriore invece della posteriore, per cui esso è negativo. L'intervallo poi fra il centro ottico e il fuoco è del pari nella lente biconcava la *distanza focale*. Rivolgendo verso il sole la lente per l'altra faccia ha luogo lo stesso fenomeno, per cui nelle lenti biconcave vi sono pure due fuochi l'*anteriore* e il *posteriore*, i quali sono virtuali.

Per comprendere come in ambedue le specie di lenti si formi il fuoco in causa della rifrazione dei raggi paralleli scagliati dal sole, siano *fe*, *gh* due di questi raggi non molto distanti dall'asse, e DO un altro raggio nella direzione dell'asse medesimo (fig. 71). Il raggio DO, passando pel centro ottico, emergerà dalla lente irrifratto nella direzione O*d*; mentre i due raggi *fe*, *gh* si rifrangono accostandosi rispettivamente alle normali *cp*, *cq* e quindi s'inflettono verso l'asse per essere la lente composta di materia dotata di maggiore rifrangibilità dell'aria. I duo raggi così rifratti dentro la lente ripassano nell'aria per le direzioni *mc*, *nc*, discostandosi rispettivamente dalle normali C*p'*, C*q'*, per cui si piegano ancor più verso l'asse, riunendosi nel punto F col raggio diretto per l'asse medesimo, e vi formano il fuoco

unitamente agli altri raggi luminosi paralleli e non molto distanti dall'asse. Nella lente biconcava (fig. 72) i due raggi *fe*, *gh* si rifrangono pure nel passare per la lente e si accostano alle normali rispettive *cp*, *cq*, per cui si allontanano dall'asse. Nell'emergere poi sono rifratti verso *ms*, *nt* discostandosi dalle normali C*m*, C*n* e quindi ancor più dall'asse. Le loro direzioni divergenti *ms*, *nt* sembrano aver origine dal punto F dell'asse, dove s'incontrerebbero nel loro prolungamento.

Il punto di riunione dei raggi paralleli si chiama *fuoco principale*, e vedremo che si conosce la distanza focale quando è dato il raggio di curvatura e l'indice di rifrazione della materia, di cui è formata la lente, ed all'inverso. Accade spesso di non conoscere nè il raggio, nè la distanza focale, e in tal caso per trovare quest'ultima si opera in una maniera analoga a quella per gli specchi curvi (§. 762). Disposta la lente convessa AB coll'asse rivolto verso il centro del sole (fig. 73), in modo che si presentino ad essa da S dei raggi luminosi paralleli, l'uno dei quali passa irrifratto pel centro ottico O e gli altri vanno a riunirsi ad esso nel fuoco F: con uno scrimaglio, si cerca questo punto luminoso e si ha sul regolo MN la misura della distanza focale OF. La lente concava AB si espone al sole nell'egual modo (fig. 74), dopo averne coperta la faccia posteriore con carta nera, lasciando a nudo due punti *m*, *n* posti sullo stesso diametro ed egualmente distanti dall'asse. Due soli raggi luminosi *ms*, *nt* emergono dalla lente dopo essere rifratti, e si presenta lo scrimaglio a tale distanza che l'intervallo *st*, compreso da questi raggi, sia doppio dell'intervallo *pq* dei due punti a nudo sulla lente, il quale nelle lenti concave, per la tenuissima grossezza della loro parte di mezzo, si può prendere senza errore sensibile eguale all'intervallo *mn*. Si avrà sul regolo MN la distanza O*f* eguale alla distanza focale OF della lente. Infatti dai triangoli simili F*ft*, FO*q* si ha la proporzione F*f* : OF : *tf* : O*q*; dove essendo *tf* doppio di O*q* sarà anche *Ff* doppio di OF, e per conseguenza O*f*=OF.

796. Abbiamo sino al presente considerati i raggi luminosi paralleli all'asse della lente, i quali dalla biconvessa emergono convergenti e si riuniscono in un punto chiamato *fuoco principale*; e da quella biconcava i raggi medesimi emergono divergenti, in modo che, venendo prolungati al di là della lente, s'incontrerebbero in un punto detto *fuoco virtuale principale*. In generale la proprietà delle lenti biconvesse, di rendere convergenti i raggi luminosi paralleli da cui sono attraversate, si riscontra anche nelle lenti piano-convesse e in quelle

concavo-convesse. Parimenti la proprietà delle lenti biconcave, di rendere divergenti i raggi luminosi paralleli da cui sono attraversate, si riscontra anche nelle lenti piano-concave e in quelle convesso concave. Egli è per ciò che le tre prime specie di mezzi rifrangenti superiormente distinte (§. 794) si chiamano in generale *lenti di convergenza* o *convergenti*, mentre le altre tre specie si appellano *lenti di divergenza* o *divergenti*. Le prime tre specie hanno l'orlo tagliente, ossia esse sono meno grosse verso l'orlo che nel mezzo. Le ultime tre specie sono a largo orlo, vale a dire che esse sono più grosse verso il loro contorno che verso la loro parte centrale.

Allo scopo di meglio definire in ogni caso l'andamento dei raggi luminosi per le diverse specie di lenti, importa di trovare, come si è fatto negli specchi (§. 763), la relazione che passa fra i raggi di curvatura, la distanza del punto irradiante dalla lente, la distanza focale o il punto di riunione dei raggi luminosi rifratti, e l'indice di rifrazione. Si abbia la lente biconvessa AB composta di due segmenti sferici, i cui centri di curvatura sono C, $c$ (fig. 75); e sia R un punto luminoso posto sull'asse della lente. Il raggio R$p$ diretto lungo l'asse passa irrifratto, e l'altro raggio R$m$, dopo aver subito due rifrazioni nell'ingresso e nell'egresso dalla lente, viene a segare il primo in un punto $f$. Rappresentiamo il raggio di curvatura C$q$ della faccia posteriore con $r$ e l'altro $cp$ con R; la distanza R$p$ del punto luminoso dalla lente con $d$, e la distanza focale, che si può prendere approssimatamente $fq$, con $f$. Si faccia inoltre $bq=x$, che è la distanza dalla lente del punto $b$, dove il raggio R$m$ incontrerebbe l'asse prolungato dopo aver subito la prima rifrazione, e si dica $g$ la grossezza $pq$ della lente.

Consideriamo l'arco $pm$ d'un piccolo numero di gradi da poter essere preso come una retta perpendicolare all'asse. Dal centro $c$ si conduca la perpendicolare $cs$ sul prolungamento del raggio incidente R$m$, la quale rappresenta il seno dell'angolo $cma$=R$me$, cioè rappresenta il seno dell'angolo d'incidenza. Dallo stesso centro $c$ si conduca la perpendicolare $ct$ sul prolungamento della direzione di R$m$ dopo essere stato rifratto in $m$, la quale perpendicolare esprime il seno dell'angolo di rifrazione $cmb$. Si avrà quindi (§. 770) $\frac{cs}{ct}=n$, essendo al solito $n$ l'indice di rifrazione, da cui si ricava $cs=n.\,ct$. Parimenti dal centro C si conduca la perpendicolare CT sul prolungamento della prima rifrazione del raggio R$m$, la quale rappresenta il seno del secondo angolo d'incidenza C$n$T, mentre la perpendicolare CS, sul pro-

lungamento del raggio luminoso dopo due rifrazioni, rappresenta il seno del secondo angolo di rifrazione $fnh=CnS$. Sarà pure $\frac{CS}{CT}=n$, da cui si deduce $CS=n.\ CT$.

Per la similitudine dei triangoli rettangoli $Rmp$, $Rcs$, si ha $Rc:Rm::cs:mp$, da cui $mp=\frac{cs.\,Rm}{Rc}$; e pei triangoli simili $bpm$, $btc$ si ha altresì $bp:bt::mp:ct$. In questa proporzione è $bp=bq+pq=x+g$; $bt$ per la piccolezza dell' arco $pm$ e quindi di $qn$ è prossimamente eguale alla linea $bc$, ossia $bt=bq+pq-cp=x+g-r$, ed altronde si è trovato precedentemente $mp=\frac{cs.\ Rm}{Rc}$, dove essendo come superiormente $cs=n.\ ct$, risulta $mp=\frac{n.\ ct.\ Rm}{Rc}=\frac{n.\ ct.\ d}{d+r}$. Sostituendo questi valori nell'ultima proporzione si ha:

$x+g:x+g-r::\frac{n.\ ct.\ d}{d+r}:ct$, da cui si ricava $(d+r)(x+g)=(x+g-r)\,nd$, che somministra $x=\frac{gd+gr+ndr-ndg}{nd-d-r}$.

Parimenti dai triangoli simili $bqn$, $bCT$ si ha

$$bT:bq::CT:qn=\frac{bq.\ CT}{bT};$$

e dai triangoli simili $fCS$, $fnq$, si ottiene $fs:fq::CS:qn$, dove è con molta approssimazione, per la piccolezza dell'angolo d'incidenza, $fS=fC=fq+Cq=f+R$. Sostituendo nell'ultima proporzione questo valore di $fS$, come quello di $CS=n.\ CT$ superiormente trovato, e ponendo invece di $fq$ la lettera $f$ da cui è rappresentata e per $qn$ il valore precedentemente rinvenuto, si ha $f+R:f::n.\ CT:\frac{bq.\ CT}{bT}$.

Ma è $bq=x$ e $bT$ per la picciolezza dell'arco eguaglia con molta approssimazione $bC$, ossia $bT=bC=bq+Cq=x+R$; per ciò l'ultima proporzione diventerà $f+R:f::n:\frac{x}{x+R}$, da cui si deduce $(f+R)\,x=nf(x+R)$, ossia $(f+R-nf)\,x=nfR$, e quindi $x=\frac{nfR}{f+R-nf}$.

Dai due valori di $x$ si ottiene l'equazione

$$\frac{nfR}{f+R-nf}=\frac{gd+gr+ndr-ngd}{nd-d-r},$$

dalla quale si ha

$$f=\frac{R\,(gd+gr+ndr-ngd)}{Rn\,(nd-d-r)-d\,(g+nr-2ng)-nd\,(ng-nr)+g\,(nr-1)},$$

ossia

$$f=\frac{R\,[\,g\,(d+r)+nd\,(r-g)\,]}{Rn\,(nd-d-r)-d\,(g+nr-2ng)-n^2d\,(g-r)+gr\,(n-1)}.$$

In quest'equazione si ha dunque la relazione richiesta fra la *distanza focale* f, *la distanza* d *dal punto luminoso, i raggi R,* r *di curvatura* delle due facce della lente, l'*indice di rifrazione* n e la *grossezza* g della lente. Vedremo quanto prima come la formola si semplifichi nella maggior parte dei casi, e come si modifichi per adattarla alle diverse specie di lenti.

Per trovare una tale relazione con tutto il rigore geometrico si richiede il calcolo infinitesimale. Il metodo approssimativo da noi impiegato basta per conoscere le proprietà delle lenti. D'altronde nelle circostanze da noi dichiarate, si ottengono risultamenti eguali a quelli che si hanno facendo uso del calcolo differenziale ed integrale, e si giunge alle medesime conseguenze.

797. Comunemente la grossezza delle lenti è si piccola, in confronto della distanza del punto luminoso e dei raggi di curvatura, che si può supporre nei casi ordinari $g=o$; in tale supposizione l'eguaglianza precedente si riduce ad $f=\frac{drR}{R\,(nd-d-r)-dr+ndr}$ ossia $f=\frac{drR}{d\,(n-1)\,(R+r)-rR}$. Se portiamo il punto luminoso ad una distanza infinita, allora è $d=\infty$ e i raggi luminosi diventano paralleli, per cui $f$ diventa la distanza focale principale, che chiameremo $p$, e si ha $p=\frac{rR}{(n-1)\,(R+r)}$.

Nella formola superiore si può introdurre $p$ ed eliminare i raggi $r$, R, e l'indice di rifrazione $n$. Infatti, dividendo per $(n-1)\,(R+r)$ l'espressione frazionaria del valore di $f$, si ha

$$f=\frac{d\left(\frac{rR}{(n-1)\,(R+r)}\right)}{d-\frac{rR}{(n-1)\,(R+r)}},$$

dove facendo la sostituzione risulta $f=\frac{dp}{d-p}$. Questo valore di $f$ vale soltanto per le lenti biconvesse, per quelle biconcave $p$ è negativo es-

sendo il fuoco virtuale (§. 795). Introducendo questa condizione nell'ultima formola essa diventa $d=\frac{-dp}{-d-p}$, ossia $f=\frac{dp}{d+p}$. Le due formole $f=\frac{dp}{d-p}$, $f=\frac{dp}{d+p}$ valgono per tutte le lenti di convergenza e di divergenza; giacchè il valore di $f$ dipende soltanto dalla distanza del punto luminoso e dalla distanza focale principale, la quale è funzione dei raggi di curvatura qualunque essi siano e dell'indice di rifrazione. Esse sono analoghe a quelle stabilite per gli specchi concavi e convessi (§. 763) ed identiche colle altre che contengono pure la distanza focale principale (§. 764). Da esse si apprende che nelle lenti convergenti, ossia in quelle biconvesse, piano-convesse e concavo-convesse, il valore di $f$ può essere positivo o negativo, vale a dire che il punto di riunione dei raggi luminosi può cadere dalla parte posteriore o da quella anteriore della lente, o in altri termini essere reale o virtuale. Nelle lenti divergenti, ossia in quelle biconcave, piano-concave e convesso-concave, $f$ è sempre positivo, e perciò il punto d'incontro dei raggi luminosi cade sempre dalla parte del raggio di curvatura della faccia anteriore, o in altri termini esso è virtuale. Per meglio riconoscere l'andamento dei raggi trasmessi dalle due specie di lenti, consideriamo le distanze differenti $d$ del punto luminoso dalla lente nelle due equazioni $f=\frac{dp}{d-p}$, $f=\frac{dp}{d+p}$, e si avranno nei differenti casi i valori esposti nel seguente quadro:

| *Distanza del punto irradiante* | *Distanza focale nelle lenti di convergenza* | *Distanza focale nelle lenti di divergenza* |
|---|---|---|
| $d=\infty$, | $f=p$, | $f=p$ |
| $d=100p$, | $f=p+\frac{1}{99}p$, | $f=p-\frac{1}{101}p$ |
| $d=2p$, | $f=2p$, | $f=p-\frac{1}{3}p$ |
| $d=p$, | $f=\infty$, | $f=p-\frac{1}{2}p$ |
| $d=\frac{1}{2}p$, | $f=-p$, | $f=p-\frac{2}{3}p$ |

Dai valori esposti nel quadro si deduce che: 1° quando il punto luminoso è ad una distanza infinita, vale a dire quando i raggi sono paralleli il fuoco principale cade alla distanza $p$ da ambedue le spe-

cie di lenti, che rappresenta appunto la distanza focale principale; 2° a misura che il punto irradiante si avvicina alla lente di convergenza, il fuoco o il punto di riunione dei raggi rifratti si allontana lentamente dalla medesima; 3° quando il punto irradiante è collocato alla doppia distanza di quella cui si trova il fuoco principale, il punto di riunione risulta alla medesima distanza del punto irradiante; 4° a misura che il punto irradiante si avvicina alla lente di convergenza, i raggi luminosi si riuniscono in punti sempre più distanti dalla medesima; 5° e quando esso viene a coincidere col fuoco principale i raggi luminosi sono trasmessi dalla lente medesima paralleli; 6° quando il punto irradiante è fra il fuoco principale e la lente di convergenza, i raggi luminosi sono trasmessi divergenti e il loro punto di riunione riesce virtuale; 7° nella lente di divergenza infine il punto di riunione dei raggi trasmessi è sempre virtuale, ed essi riescono sempre più divergenti riunendosi, nel loro prolungamento, verso la parte anteriore in un punto che va avvicinandosi alla lente medesima.

Collocando il punto irradiante nel posto, dove cadeva quello di riunione dei raggi luminosi trasmessi dalla lente, il secondo viene a coincidere nel sito dove trovavasi il primo, e in tal modo i due punti vengono a permutare il loro posto; egli è perciò che si sogliono essi, come negli specchi curvi (§. 763), chiamare l'uno per rispetto all'altro *punti coniugati*.

Se i raggi luminosi diretti verso una lente sono convergenti, è chiaro che dalle tre prime specie di lenti essi saranno trasmessi con un maggior grado di convergenza, e dalle altre tre specie con minor convergenza e in alcuni casi rifratti paralleli o divergenti. Per avere in questo caso un'idea più compiuta dell'andamento dei raggi luminosi trasmessi, modifichiamo le due formole $f=\frac{dp}{d-p}$, $f=\frac{dp}{d+p}$ a norma della proposta condizione. I raggi, per essere convergenti, si possono considerare come se partissero da un punto situato nella parte posteriore della lente, e per modificare le due formole a questa circostanza basta nelle formole cambiare il segno alla quantità $d$; e si avrà per la prima $f=\frac{-dp}{-d-p}=\frac{dp}{d+p}$, e per la seconda $f=\frac{-dp}{-d+p}=\frac{dp}{d-p}$.
Dalle quali si apprende che per le lenti di convergenza il fuoco è sempre positivo, vale a dire che in ogni caso è reale e riesce più vicino alla lente di quando i raggi sono divergenti, per essere $\frac{dp}{d+p}$ minore

di $\frac{dp}{d-p}$. In quanto alle lenti di divergenza, i raggi convergenti possono essere trasmessi ancor convergenti, oppure divergenti o paralleli, perchè il valore di $f=\frac{dp}{d-p}$ può essere positivo, negativo ed infinito.

Le deduzioni fondamentali, intorno all'andamento dei raggi luminosi trasmessi dalle lenti di convergenza e di divergenza, si possono sperimentare pei diversi casi nella camera oscura colla luce solare e colla luce emanata dalla fiamma d'una candela.

798. Le equazioni $f=\frac{dp}{d-p}$, $f=\frac{dp}{d+p}$, per le lenti di convergenza e di divergenza, si riducono facilmente alla seguente forma, come si è fatto di quelle degli specchi (§. 764): $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}-\frac{1}{d}$, $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{d}$
Da ciò si apprende che *la distanza, cui s'incontrano i raggi luminosi trasmessi, diminuisce od aumenta secondo che si prende una lente di convergenza di minor o maggior distanza focale principale e secondo che se ne allontana o si avvicina il punto irradiante;* inoltre che *il punto di riunione dei raggi trasmessi risulta più o meno distante da una lente di divergenza secondo che questa è di maggior o minor distanza focale e se ne allontana o si avvicina il punto luminoso.*

Dall'equazione $f=\frac{drR}{d(n-1)(R+r)-rR}$ si sono dedotte le due formole precedenti introducendo la distanza focale principale risultante nel caso che il punto luminoso si porti ad una distanza infinita; essa moltiplicata pel denominatore e poscia divisa tutta per $dfrR$ si può mettere sotto quest'altra forma: $\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)$. Da quest'equazione si vede meglio come scaturiscono le formole applicabili a ciascuna specie di lenti. Infatti per le lenti piano-convesse è un raggio di curvatura $R=\infty$, per cui l'equazione diventa

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=(n-1)\left(\frac{1}{\infty}+\frac{1}{r}\right), \text{ ossia } \frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{r}(n-1),$$

potendosi trascurare la quantità infinitesima. Per la distanza focale principale $f=p$, è $d=\infty$, e si ha $\frac{1}{p}=\frac{1}{r}(n-1)$, donde sostituendo ad $\frac{1}{r}(n-1)$ il suo valore, risulta $\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{p}$, ossia $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}-\frac{1}{d}$,

Equazione identica con quella delle lenti biconvesse. Nel caso delle lenti concavo-convesse, bisogna cambiare il segno al raggio più grande R o di minor curvatura, e si ha $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = (n-1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$, dove facendo $d=\infty$ si ha $\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$, e quindi $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{d}$. Equazione pure identica con quella delle lenti biconvesse.

Nel caso delle lenti biconcave il fuoco è sempre virtuale e quindi $f$ negativo, sarà dunque $-\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$, donde, nel caso di $d=\infty$, si ha $-\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ e sostituendo $-\frac{1}{p} = -\frac{1}{f} + \frac{1}{d}$, ossia $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{d}$, che è la relazione precedentemente trovata per le lenti biconcave. Per quelle piano-concave è altresì $R=\infty$ e quindi
$-\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = (n-1)\frac{1}{r}$ e, nel caso di $d=\infty$, $-\frac{1}{p} = (n-1)\frac{1}{r}$, e infine sostituendo $-\frac{1}{p} = -\frac{1}{f} + \frac{1}{d}$, ossia $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{d}$, equazione identica colla precedente. Finalmente per le lenti convesso-concave si ha $-\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$, e quindi pei raggi paralleli $-\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$, ossia $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{d}$.

Da quanto si è esposto si apprende dunque in generale che *tutte le conseguenze dedotte dalla formola per le lenti biconvesse valgono eziandio per quelle piano-convesse e concavo-convesse, e le conseguenze dedotte dalla formola per le lenti biconcave si verificano eziandio per le lenti piano-concave e convesso-concave*. Talchè, come si disse, esse si riducono alle due specie, le *lenti di convergenza* e le *lenti di divergenza*.

L'equazione fondamentale $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ vale anche pei vetri piani a facce parallele prendendo $R=\infty$, $r=\infty$; giacchè nella geometria il piano si può considerare una superficie sferica di raggio infinitamente grande. In questo caso l'equazione diven'a

$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=(n-1)\left(\frac{1}{\infty}+\frac{1}{\infty}\right)$, ossia $\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=0$ per poter essere considerate zero le quantità infinitesime, e per ciò $f=-d$. Da ciò si apprende che i raggi luminosi, attraverso un mezzo terminato in superficie piane parallele, ne emergono collo stesso grado di divergenza dei raggi incidenti. Se i raggi sono paralleli, allora è anche $d=\infty$, e in questo caso si ha $f=-\infty$, vale a dire che i raggi paralleli emergono dal vetro piano ancora paralleli. Queste deduzioni si accordano con quanto si è altrove dimostrato (§. 774).

799. Dall'equazione precedentemente rinvenuta (§. 797) $p=\frac{Rr}{(n-1)(R+r)}$, conosciuti i raggi di curvatura per una lente di data materia, si ha la distanza focale e viceversa. L'indice di rifrazione pel vetro in confronto dell'aria è $n=\frac{31}{20}$, e se la lente è biconvessa e regolare si ha $r=R$; per queste lenti è dunque $p=\frac{r^2}{\left(\frac{31}{20}-1\right).2r}$, ossia $p=\frac{10}{11}r$; se è $n=\frac{3}{2}$, allora risulta $p=r$. Dunque *la distanza focale principale nelle lenti biconvesse di vetro eguaglia quasi il raggio di curvatura*. Se la lente è piano-convessa, allora il raggio $R=\infty$, e risulta $p=\frac{20}{11}r$, e nel caso di $n=\frac{3}{2}$ è $p=2r$. *Nelle lenti piano-convesse di vetro la distanza focale principale eguaglia quasi il doppio del raggio di curvatura.* Per le lenti concavo-convesse il raggio R di una delle facce è maggiore del raggio di curvatura $r$ dell'altra faccia; quando sia $R=2r$, allora risulta $p=\frac{4}{3}r$, che è la distanza focale del menisco di convergenza. Nello stesso modo si opera per determinare la distanza focale principale delle lenti di divergenza, colla sola differenza che il fuoco in questa specie di lenti non è reale ma virtuale.

Per la costruzione degli strumenti ottici e pei bisogni della scienza si richiede spesso di avere delle lenti d'una distanza focale data. Affinchè l'artefice non operi all'azzardo ed abbia una direzione per lavorare la lente, che deve avere una data distanza focale, è necessario che egli conosca i raggi di curvatura. Supponiamo che si voglia costruire una lente biconvessa che debba avere la distanza focale di lunghezza determinata. In tal caso prendendo $R=r$, risulta

$p=\frac{r}{2(n-1)}$, da cui si ricava $r=2(n-1)p$. Per le lenti piano-convesse e piano-concave è $R=\infty$, e quindi $p=\frac{r}{n-1}$, da cui si deduce $r=(n-1)p$. Se la lente deve essere fabbricata di flinto d'indice $n=1,6$ ed avere la distanza focale $p=30$ centimetri; si avrà per la lente biconvessa e biconcava $r=2\,(1,6-1)\,30$, ossia $r=36$ centimetri; e per la lente piano-convessa e la piano-concava $r=18$ centimetri.

800. Interessa alle volte di conoscere la distanza, cui si riunirebbero i raggi luminosi nel secondo mezzo terminato in superficie curva senza emergerne per ritornare nel primitivo; si tratta cioè di determinare a quale distanza si riuniranno, per es. nella cassetta della sperienza suddescritta (§. 793), passando i raggi luminosi dall'aria nell'acqua terminata in superficie convessa. Sia AB la superficie di separazione dei due mezzi, il cui centro di curvatura è in $c$ (fig. 76), ed R il punto luminoso. Il raggio R$p$, diretto verso il centro di curvatura $c$, passa irrifratto per essere in $p$ perpendicolare alla superficie sferica di separazione; talchè esso diventa l'asse ottico del mezzo sferico. L'altro raggio R$m$, non molto discosto dall'asse, si rifrange ed incontra il primo nel punto $b$ e si noti al solito con $d$ la distanza R$p$ del punto luminoso dal secondo mezzo, con $r$ il raggio di curvatura $cp$ e con $f$ la distanza focale $pb$.

Dal centro $c$ si conduca la perpendicolare $cs$ sul prolungamento del raggio incidente R$m$, la quale rappresenta il seno dell'angolo $cms$=R$me$ angolo d'incidenza. Dallo stesso centro $c$ si conduca la perpendicolare $ct$ sul raggio rifratto $mb$, la quale esprime il seno dell'angolo di rifrazione $cmb$. Si avrà quindi (§. 770) $\frac{cs}{ct}=n$, ossia $cs=n.\,ct$.

Per la similitudine dei triangoli rettangoli R$mp$, R$cs$, si ha R$c$ : R$m$ : : $cs$ : $mp$, da cui si deduce $mp=\frac{cs.\,Rm}{Rc}=\frac{n.\,ct.\,Rm}{Rc}$, dove R$c$=$d+r$ ed R$m$ si può ritenere eguale alla distanza $d$ del punto irradiante attesa la piccolezza dell'arco $pm$, per cui risulta $mp=\frac{nd.\,ct}{d+r}$. Pei triangoli rettangoli simili $bpm$, $btc$ si ha altresì $bp:bt::mp:ct$, dove $bp=f$, $bt=bc=f-r$; per cui, sostituendo questi valori a quello di $mp$ già determinato, si ottiene $f:f-r::\frac{nd.\,ct}{d+r}:ct$.

Da questa proporzione si ricava $f=\frac{ndr}{d\,(n-1)-r}$, che è la distanza focale richiesta. Nel caso dei raggi paralleli è $d=\infty$, e quindi $f=\frac{nr}{n-1}$. *La distanza focale dei raggi luminosi e paralleli dopo la prima rifrazione nell'entrare in un mezzo è eguale al raggio di curvatura preso tante volte quanto è il quoziente dell'indice di rifrazione diviso per lo stesso indice scemato dell'unità.*

Se i raggi entrassero dall'aria in una massa vitrea dotata dell'indice di rifrazione $n=\frac{3}{2}$, si avrebbe nel caso del parallelismo

$$f=\frac{\frac{3}{2}r}{\frac{3}{2}-1}$$, ossia $f=3r$; e se la massa rifrangente fosse l'acqua comune per la quale è $n=\frac{4}{3}$, sarebbe $f=\frac{\frac{4}{3}r}{\frac{4}{3}-1}=4r$; vale a dire nel primo caso i raggi luminosi si riunirebbero alla distanza di 3 volte il raggio di curvatura e nel secondo a quella di 4 volte il raggio di curvatura.

801. Sinora il punto irradiante era posto sull'asse principale della lente; pei punti, che sono situati fuori di quest'asse, si verificano le stesse conseguenze dedotte dalle formole dichiarate. Affine di comprendere come le dottrine spiegate si applichino ai punti luminosi posti fuori dell'asse, importa di fare alcune considerazioni sul centro ottico. Abbiamo già veduto che i raggi luminosi, nel transitare per questo punto, emergono irrifratti (§. 794). Sia AB una lente convessa o concava e C, *c* i centri (figg. 77 78). Si conducano i raggi di curvatura C*p*, *cq* paralleli fra loro e si congiunga la *pq*, la quale sega l'asse S*s* nel punto *o*. Da un punto luminoso situato fuori dell'asse S*s* cada in *p* un raggio R*p* che, rifrangendosi, passi pel centro ottico *o* della lente ed emerga nella direzione *qr*. Si prolunghi R*p* verso E ed *rq* verso F, come pure i raggi di curvatura C*p*, *cq* verso M, N. In questa costruzione risulta:

R*p*M angolo di prima ncidenza; C*pq* l'angolo di prima rifrazione; *cqp* l'angolo di seconda incidenza; *rq*N l'angolo di seconda rifrazione;

Ora l'angolo della prima rifrazione C*pq*=*cqp* angolo della seconda

incidenza per le parallele $Cp$, $cq$; per cui, essendo secondo la legge della rifrazione $\frac{sen.\ RpM}{sen.\ Cpq}=\frac{sen.\ rqN}{sen.\ cqp}$, si ha $sen.\ RpM=sen.\ rqN$, e quindi l'angolo $RpM$ eguale $rqN$, ossia $CpE=cqF$ come opposti al vertice. Ma $CpE=Cpq+qpE$; $cqF=cqp+pqF$, per conseguenza si ha $Cpq+qpE=cqp+pqF$, ossia, per essere i due primi eguali in virtù delle parallele CM, cN, risultano pure eguali gli altri due angoli $qpE$, $pqF$, e parallele le due rette RE, $r$F. Da ciò si apprende che *il raggio incidente, che nell'attraversare la lente passa pel centro ottico, ne emerge in direzione parallela a se medesimo.*

La posizione del centro ottico O si determina considerando i due triangoli simili $Cop$, $coq$, i quali somministrano la proporzione: $Cp:Co::cq:co$. Per la lente convessa si ha da questa proporzione l'altra $Cp-Co:cq-co::Cp:cq$; dove per essere $Cp=Cx$, $cq=cy$, è $Cp-Co=Cx-Co=ox$, come pure $cq-co=cy-co=oy$, e l'ultima proporzione diventa $ox:oy::Cp:cq$. Per la lente concava la proporzione $Cp:Co::cq:co$ si trasforma in quest'altra $Co-Cp:co-cq::Cp:cq$, ossia $Co-Cx:co-cy::Cp:cq$, cioè $ox:oy::Cp:cq$. Da ciò si apprende che *il centro ottico delle lenti divide la porzione dell'asse compreso dalle loro facce in parti reciprocamente proporzionali ai raggi di curvatura delle facce medesime.* Se dunque la lente è regolare e centrata, i raggi di curvatura sono eguali e il centro ottico cade nel mezzo della grossezza della lente.

Se dunque è dato un punto irradiante R posto fuori dell'asse (fig. 79), il raggio Ro che passa pel centro ottico ne emerge parallelo alla primitiva direzione; talchè, in causa della piccola grossezza della lente, si può ritenere che la attraversi in linea retta e passi irrifratto. È questo l'*asse secondario* della lente su cui si riuniscono i raggi luminosi, che non molto se ne discostano, e ciò al pari di quanto si disse per gli specchi curvi (§. 765). Per determinare il punto di riunione $r$ dei raggi luminosi che partono da R, consideriamo il raggio luminoso R$p$ parallelo all'asse principale S$s$, il quale, dopo essere rifratto, passa pel punto $f$ dell'asse medesimo ed incontra infine l'asse secondario in $r$. In causa della poca grossezza della lente si può ritenere il raggio R$p$ come intieramente parallelo all'asse S$s$, cioè senza aver subito verun piegamento nel passare dentro la lente. Si hanno quindi i due triangoli simili $Rrp$, $ofr$, in causa dell'angolo comune in $r$ e dell'angolo in $o$ del secondo eguale all'opposto al vertice ossia all'angolo in R del primo per le parallele; e da essi si ottiene $Rr:or::Rp:of$. Ma $Rr=Ro+or=d+f$, cioè la distanza del punto

luminoso dalla lente più la distanza focale; inoltre R$p$ è eguale prossimamente ad R$o$=$d$ ed $of$=$p$ distanza focale principale dei raggi paralleli. Sostituendo questi valori, la proporzione precedente si trasforma in quest'altra: $d+f:f::d:p$, da cui si ricava $dp+fp=df$ oppure, dividendo per $dfp$ e trasportando il secondo termine nel secondo membro, $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}-\frac{1}{d}$. Questa formola è analoga a quella trovata pel punto irradiante posto sull'asse principale (§. 798). Dunque *pei punti irradianti, che sono posti fuori dell'asse principale e non ne sono molto discosti, si verificano le medesime leggi per rispetto all'asse secondario dei punti irradianti posti sull'asse principale medesimo.*

Volendo eliminare la distanza focale principale $p$, rammentiamo che è $p=\frac{rR}{(n-1)(R+r)}$ (§. 797), e nel caso d'una lente regolare, che abbia $R=r$, $p=\frac{r}{2(n-1)}$, per cui la formola superiore diventa $\frac{1}{f}=\frac{2(n-1)}{r}-\frac{1}{d}$.

Nella fig. 80 vedonsi due punti irradianti, l'uno dei quali posto sull'asse principale e l'altro sopra un asse secondario, i cui raggi luminosi sono rifratti e riuniti da una lente convessa sopra il rispettivo asse; talchè, data una serie di punti costituenti una linea o una superficie luminosa, si avrà nella parte posteriore della lente l'imagine di questa linea o di questa superficie. Se la lente è concava l'imagine, invece di reale, risulterà virtuale. La fig. 81 rappresenta la riunione sopra l'asse secondario di raggi luminosi fra loro paralleli ed obliqui all'asse principale.

802. I raggi luminosi, che partono da un punto ed attraversano un mezzo rifrangente terminato in superficie curve, sono in pochi casi così rifratti da riunirsi in un unico sito, e nelle lenti sferiche ciò succede soltanto pei raggi che non si allontanano molto dall'asse, o in quelle che hanno 20 o al più 24 gradi d'apertura. In generale, i mezzi conterminati in superficie curva rifrangono i raggi luminosi, che partono dal medesimo punto, in differenti fuochi, i quali sotto certe curvature formano delle linee o delle superficie luminose contigue somiglianti a quelle prodotte dagli specchi (§. 766), che in questo caso prendono il nome di *linee* o *caustiche per rifrazione* o *diacaustiche*. È stato questo il soggetto dei matematici, come le catacau-

stiche, e data la forma della curvatura dei mezzi rifrangenti e il loro potere rifrattivo determinare quella che risulta dall'intersezione dei raggi luminosi rifratti. Si possono mostrare i fenomeni delle diacaustiche prendendo un vaso cilindrico di piombo o di altra materia opaca, dal quale si tagliano verso il suo orlo due bande diametralmente opposte e della grandezza ciascuna di 10 in 15 gradi della circonferenza. Si chiudono le fessure fatte per le bande levate assicurandovi due foglie di mica o due lastrine incurvate di vetro, affine di avere due parti trasparenti opposte della parete del vaso. Si versi dell'acqua nel vaso sino a riempirlo interamente, e si collochi questo in modo che sia rivolto con una sua parte trasparente verso il sole o una fiamma d'una candela disponendo dall'altra un cartone bianco opportunamente inclinato riguardo al mezzo e che seghi i raggi luminosi; questi attraversando il liquido del vaso per la parete diafana formano sul cartone una diacaustica di una bellissima forma, la quale si può variare cambiando la curvatura della parete trasparente.

Si ottengono delle diacaustiche anche con globi e con vasi conici di vetro riempiuti d'acqua. Se le superficie sono concave allora risultano delle *diacaustiche virtuali*, come succede delle catacaustiche ottenute cogli specchi convessi (766).

803. Le lenti convesse posseggono la proprietà di concentrare i raggi luminosi paralleli nel loro fuoco; e se il punto irradiante è collocato in questo fuoco, di trasmetterli a grandi distanze in un fascio cilindrico composto di tanti raggi paralleli: è appunto per questa proprietà che esse si sono applicate all'illuminazione al pari degli specchi (§. 767). Per ottenere questi fasci luminosi cilindrici è necessario che la sorgente luminosa sia un punto fisico, e che i raggi non si discostino di molto dall'asse, ossia che la lente abbia un'apertura che non superi i 24 gradi. La fiamma d'una candela ha già una certa grandezza, i cui raggi luminosi, per farli emergere parallelamente da una lente, bisognerebbe che fossero concentrati in un piccolo spazio da una prima *lente collettiva*. I raggi luminosi divergenti S provengono dalla fiamma d'una candela (fig. 82), essi sono raccolti dalla lente collettiva A e radunati nel piccolo spazio F, dove corrisponde il fuoco principale anteriore della lente B. Per escludere tutti i raggi, che si allontanerebbero molto dall'asse, la lente A è circondata da un anello opaco, che ne impedisce il passaggio. Sulla lente B giungono i raggi luminosi, come se partissero tutti da F, che può considerarsi un punto fisico, e in tal modo i raggi luminosi emergono dalla seconda lente B in un fascio cilindrico, e si propagano così

riuniti a grande distanza senza scemare l'intensità luminosa per la divergenza. Questo sistema d'illuminazione per essere applicato alla pratica, oltre avere l'inconveniente di dover combinare due lenti alla dovuta distanza fra loro, ha ancora l'altro di essere limitato alle lenti dell'apertura, che non superi i 24 gradi.

Si toglie questi inconvenienti costruendo la lente per l'illuminazione di parecchie zone sfero-prismatiche di differente raggio di curvatura e riunite assieme in modo che riescano concentriche e formino una sola lente. Essendo esse composte di parecchie zone concentriche, si chiamano per ciò *lenti polizonali* come le appellano anche gli Inglesi *(polyzonal lenses)* ed i Tedeschi *polyzonallinsen)*, mentre dai Francesi si è dato loro il nome di *lentilles à échelons* e da uno scrittore italiano si sono designate con quello di *lenti a gradinate*.

Le lenti polizonali si compongono di una lente centrale piano-convessa A*a* (fig. 83) e di zone sfero-prismatiche B*b*, C*c*, D*d* ecc. ecc., la prima delle quali inviluppa la lente centrale, e ciascuna delle altre, di diametro consecutivamente più grande, circonda quella precedente di diametro più piccolo. Le zone lenticolari sono lavorate in modo da soddisfare alle due condizioni: 1° che la luce incidente su di esse possa attraversarle liberamente senza cadere sulla superficie laterale, che non è levigata; 2° che la luce trasmessa da ognuna delle medesime venga a radunarsi nel fuoco della lente centrale. Bisogna quindi prendere le curvature delle zone lenticolari B*b*, C*c*, D*d* ecc. tali che abbiano l'eguale distanza focale della lente centrale A*a*. Con questo artifizio si formano le lenti polizonali d'apertura molto più grande delle comuni e capaci quindi di raccogliere un gran numero di raggi luminosi inviati dal medesimo punto e concentrarli in un unico fuoco; inoltre il vetro rifrangente ha poca grossezza ed estingue quindi minor quantità di luce d'una lente comune d'egual diametro. Per calcolare la curvatura delle zone lenticolari, bisogna rammentare che le lenti sferiche comuni, per concentrare nel fuoco i raggi non diretti sull'asse principale, non devono essere d'apertura maggiore di 24 in 25 gradi. Se quindi le zone lenticolari si lavorano in modo che appartengano a sfere di raggio sempre più grande, quantunque aumentino in diametro, possono essere d'apertura non superiore al numero di gradi suespresso e quindi rifrangere i raggi luminosi, che si discostano dall'asse, al fuoco medesimo dove si riuniscono quelli che attraversano la lente centrale.

Buffon aveva avuto l'idea nel trascorso secolo di costruire questa specie di lenti, e ne parla anche Lorenzo Selva, uno degli artisti ot-

tici italiani più rinomati (1): ma volendo tagliarle in un sol pezzo, come rappresenta la fig. 84, l'idea non ebbe alcun effetto in pratica e fu dimenticata, sinchè Brewster nel 1811 e poscia Fresnel nel 1822 ebbero il pensiero di costruirle con zone separate, che fecero costruire nel modo suddescritto e le applicarono ai fari sostituendole agli specchi concavi (§. 767). Sulle coste d'Inghilterra, di Francia, d'Italia, di Spagna e di altri paesi d'Europa, come pure lungo il litorale degli Stati Uniti d'America si è applicato ai fari questo sistema. Un faro lenticolare fornito di quattro lucignoli concentrici consuma chilogrammi 0,7 d'olio all'ora e presenta per ogni lato una luce equivalente a quella di 625 lucerne a livello costante o di 3750 candele comuni. In un tempo sereno questa luce dà segni della sua presenza al navigatore, che si trova alla distanza di 50 in 55 chilometri (2). Al fuoco d'una lente polizonale del diametro di 55 in 60 centimetri e della distanza focale principale di 30 in 35 centimetri, l'imagine del sole ha un vivissimo splendore e manifesta tanto calore da fondere le sostanze più refrattarie, come vedremo nel seguente capitolo.

804. Gli artefici in maglia sogliono illuminare i loro telai ed altri lavoratori i loro ordigni durante le lunghe notti della stagione iemale servendosi d'un globo di vetro pieno d'acqua, di contro al quale collocano la fiammella d'un lucignolo, i cui raggi rifratti da quel mezzo gettano una luce splendidissima sui congegni, dove è principalmente diretta l'attenzione dell'operatore.

Dalla formola superiormente trovata (§. 796), facendo $g=2r$, $R=r$, si ha per la distanza focale della lente, formata d'un'intera sfera, il valore $f=\frac{2dr+2r^2-ndr}{2nd+nr-2r-2d}$. Nel caso dei raggi paralleli, è $d=\infty$, e risulta la distanza focale principale $p=\frac{r(2-n)}{2(n-1)}$, dove per l'acqua è $n=\frac{4}{3}$ e si ottiene $p=r$; e pel vetro è $n=\frac{3}{2}$ e quindi $p=\frac{1}{2}r$; pel zirconio poi, pel quale è $n$ quasi eguale a 2, si avrebbe $p=o$, e pel diamante, essendo $n=2,439$, risulterebbe $p=-0,153r$, cioè il

(1) *Dialoghi ottico-teorico-pratici*, opera di Lorenzo Selva. Venezia 1787. Dialogo VI. — Vedi anche sullo stesso argomento *Enciclopédie Méthodique*, parte fisica. t. IV, pag. 815.

(2) Si vegga per questi fari gli *Annali di fisica chimica* ecc. più volte citati, t. IV, pag. 200—204; come pure t. XXIV, 321; t. XXV, pag 105, 214 e 318; t. XXVI, pag. 101, 216 e 324; e t. XXVII, pag. 100.

fuoco principale contato dal centro della sfera risulterebbe eguale ad $r-0,153r=0,847$, cioè la luce si concentrerebbe nella sfera. Egli è perciò che i corpi dotati di molto poter rifrangente riescono splendenti, come è appunto del diamante e di altre pietre preziose dotate di molta forza rifrattiva. Il fuoco principale poi contato dal centro della sfera viene ad essere $p+r$, ossia $\frac{r\,(2-n)}{2\,(n-1)}+r=\frac{nr}{2\,(n-1)}$.

Se il globo ha il diametro di 20 centimetri, basterà collocare la fiammella del lucignolo alla distanza di 10 centimetri dalla sua superficie per avere un fascio cilindrico di raggi paralleli diretti all'illuminamento. Il lume L dunque posto in S di contro al globo AB alla distanza eguale alla metà del diametro (fig. 85), i suoi raggi saranno rifratti dall'acqua in esso contenuta e trasmessi parallelamente. Alle volte converrà escludere i raggi troppo obliqui all'asse, i quali non riuscirebbero paralleli, nè trasmessi quindi riuniti in un fascio cilindrico.

805. Il fenomeno della rifrazione della luce, di cui ci siamo sino ad ora intrattenuti, si spiega nel sistema delle ondulazioni seguendo i principii, superiormente esposti (§. 768). Rammentiamo primieramente che ogni corpo trasparente contiene dell'etere, il quale è capace di entrare in ondulazione e di trasmettere le onde attraverso di sè (§. 737). Questa trasmissione, come si disse (§. 768), succede con maggior velocità quanto più il mezzo è elastico e quanto è meno denso, cioè quanto più è grande il rapporto dell'elasticità alla sua densità, ed all'inverso la trasmissione è ritardata quanto è meno elastico e più denso, cioè quanto è più piccolo il rapporto dell'elasticità alla densità: nel primo caso il mezzo è dotato di minore e nel secondo di maggiore rifrangibilità.

Sia pertanto AB il piano di separazione d'un mezzo rifrangente omogeneo (fig. 86), al quale si presenta un fascetto luminoso, di cui MN è l'onda complessa ed $rs$ normale ad MN la direzione, secondo cui s'avanza verso il mezzo medesimo. Supponiamo dapprima il caso che il nuovo mezzo, dove si propaga l'ondulazione, sia più rifrangente di quello da cui esce, ossia che il rapporto dell'elasticità alla densità rispettiva sia minore. Rappresenti M$m$ lo spazio che percorre l'onda nel secondo mezzo, mentre nel primo trascorre lo spazio NN' eguale ad MM'. Nell'istante che il punto N dell'onda incidente MN avrà raggiunto il punto N' della superficie di separazione del nuovo mezzo, il punto M dell'onda generatasi nel nuovo mezzo avrà acquistato il raggio M$m$, mentre gli altri punti delle onde parziali, genera-

tesi in $r$ ed appartenenti all'onda complessa medesima, avranno acquistato i raggi $rt$, i quali conserveranno rispettivamente lo stesso rapporto con $rs$ come $Mm$ con $MM'$. Conducendo da $N'$ ad $m$ la retta $N'm$, essa rappresenterà il piano tangente alle onde parziali generatesi nel nuovo mezzo, ossia rappresenterà l'onda complessa nel mezzo medesimo, per la quale la luce riuscirà sensibile. L'onda complessa proseguirà nel secondo mezzo a propagarsi nella medesima direzione conservandosi perpendicolare ad $Mm$, $rt$, e per conseguenza queste linee indicheranno la direzione della luce nel mezzo medesimo.

Si faccia centro in $N'$ e col raggio $N'M$ si descriva l'arco $Mf$ che interseca nei punti $e$, $f$ le due rette $N'm$, $N'M'$ prolungate. È chiaro che $Mm$, $MM'$ rappresentano i seni degli archi $Me$, $Mf$, ossia degli angoli corrispondenti $MN'm$, $MN'M'$. Il primo $MN'm$, complemento di $mMN'$, è eguale all'angolo di rifrazione, che riesce pure complemento di quest'ultimo angolo; il secondo $MN'M'$, complemento di $M'MN'$ o dall'opposto al vertice AMS, è eguale all'angolo d'incidenza che è pure complemento del medesimo angolo AMS. Ora $Mm$, $MM'$ stanno come le velocità $u$, $v$ di propagazione delle onde eteree nel secondo e nel primo mezzo: per cui indicando con $i$ l'angolo d'incidenza eguale $MN'M'$ e con $r$ l'angolo di rifrazione eguale $MN'm$, si avrà: $sen.\ i : sen.\ r :: MM' : Mm :: v : u$. Il rapporto costante dei seni dei due angoli d'incidenza e di rifrazione, o delle due velocità $v$, $u$ delle onde nel primo e nel secondo mezzo si è espresso con $n : 1$, per cui si ha $sen.\ i : sen.\ r :: n : 1$, ossia $\frac{sen.\ i}{sen.\ r} = n$, dove $n$ è l'indice di rifrazione; dunque quest'indice nel sistema delle ondulazioni è il rapporto delle velocità nel primo e nel secondo mezzo, ed è da queste velocità che dipende la forza rifrattiva (§. 792).

Nel caso che il nuovo mezzo fosse meno rifrangente di quello, da cui esce il fascetto luminoso, allora le onde eteree, entrando in esso, si propagheranno con maggior velocità e il raggio $Mm$ diverrebbe maggiore di $NN'$ o di $MM'$ ed $N'm$ risulterebbe più corta di MN. È facile di dimostrare, con una costruzione consimile, che anche in questo caso si trova quanto mostra l'esperienza.

Il sistema delle ondulazioni richiede che la luce, nel propagarsi in un mezzo di maggiore rifrangibilità, diminuisca nella sua velocità di propagazione; ed all'inverso si aumenti la velocità passando in un mezzo meno rifrangibile. All'incontro nel sistema dell'emissione la velocità di propagazione è d'uopo che sia più grande in un mezzo dotato di maggiore che in un'altro fornito di minore rifrangibilità.

Importava quindi di cercare coll'esperienza se la luce procedesse più celeremente nell'attraversare un mezzo più rifrangente che in altro meno rifrangente (§. 792). L'enorme velocità di propagazione del fluido luminoso dava poca speranza di poter sciogliere una tale questione per decidersi a seguire piuttosto l'uno che l'altro sistema. Tuttavolta, con una disposizione somigliante a quella con cui si è valutata la velocità della luce negli angusti spazi che presenta per essa questo nostro globo (§. 741), si è giunto a stabilire che la luce si muove più celeremente nell'aria che nell'acqua (1) cioè in un mezzo meno rifrangente (l'aria) che in uno più rifrangente (l'acqua). Si dispone l'esperienza in modo che, percorrendo un raggio di luce nell'acqua un tratto di lunghezza 1, un altro raggio percorra un tratto d'aria di $\frac{3}{4}$ di quella lunghezza. Secondo il sistema dell'emissione i tempi impiegati dai due raggi luminosi per percorrere quegli spazi devono essere eguali, e per conseguenza eguali anche le deviazioni prodotte dalla riflessione dello specchio ruotante. Nel sistema delle ondulazioni invece i tempi impiegati dalla luce nell'attraversare l'acqua e l'aria sono assai differenti e debbono essere come 16 a 9 e le deviazioni nel medesimo rapporto. Prendendo invece le lunghezze calcolate secondo il sistema delle ondulazioni, vale a dire nel rapporto di $\frac{3}{4}$ per l'acqua e di 1 per l'aria, i tempi pel transito della luce saranno secondo la teorica dell'emissione di 9 a 16 ed eguali secondo la teorica dell ondulazioni, e i medesimi rapporti bisogna che si osservino nelle deviazioni prodotte dalla riflessione dello specchio ruotante. Si sono istituite queste due sperienze e i risultati ottenuti furono assai distinti e si accordarono colla teorica delle ondulazioni. Nella prima disposizione, la deviazione è più grande per l'acqua che per l'aria, e risulta quasi doppia. La differenza è già sensibile con una velocità di rotazione dello specchio di 400 in 500 giri per secondo: con una velocità di 1500 giri essa diventa evidente. Nella seconda disposizione, la deviazione è la medesima per l'aria e per l'acqua, e qualunque sia la velocità di rotazione dello specchio, non si scorge differenza sensibile fra le due deviazioni. In tal modo la questione si è decisa in favore del sistema delle ondulazioni contro quello dell'emissione, ed è questo uno dei due fatti capitali, che parlano in favore del primo dei due sistemi (§. 736).

(1) Vedi gli *nnali di fisica e chimica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III, *pag.* 61

## SEZIONE II.

### *Dell'ottica fisica.*

806. Dopo avere studiato le leggi del fluido luminoso inviato dai corpi, sia che abbiano in se stessi la proprietà di eccitarlo, sia che lo ricevano da qualche sorgente; dopo aver seguito il suo corso attraverso i mezzi che ne modificano la direzione, ed esaminato, per così dire, tutte le sinuosità che ha percorso; dopo insomma aver fatto soggetto delle nostre indagini l'*ottica geometrica*, passiamo a studiarlo sotto l'*aspetto fisico*. In questa parte dell'ottica possiamo occuparci tanto della luce solare quanto di quella proveniente da altre sorgenti naturali od artificiali. Incominciamo dalla luce del sole, come quella che è stata versata dal Creatore in tanta copia sul pianeta che abitiamo.

La natura non solo ha variato in mille guise l'aspetto dei corpi e degli oggetti colla differente quantità di lumico che ricevono od inviano al nostro occhio, quantità che costituisce lo splendore e la chiarezza con tutte quelle gradazioni di lume, che bastano a distinguerli; ma quella natura stessa produce degli effetti ancor più maravigliosi e ci mostra nella luce, che rischiara i suoi quadri, i colori di cui si serve per dipingerli.

Per quanto sottile e delicato sia uno strale o un dardo di luce, sintanto che è sensibile ai nostri organi si riscontra in esso identicamente le medesime proprietà, di cui è dotato il fascio più voluminoso. Lo strale lucido il più sottile ed un gran fascio vibrati dal sole, sono ambidue composti di parecchi raggi elementari, ciascuno dei quali è dotato di diverso colore e possiede un grado differente di rifrangibilità. Le prime sperienze, colle quali si dimostrò la composizione del fluido luminoso proveniente dal sole, furono istituite dall'italiano De Dominis, vescovo di Spalatro; il quale, essendo per alcune vicende religiose stato costretto a lasciare il suo luogo di residenza, si ritirò in Inghilterra, e colà le ha ripetute e per tal modo vennero a cognizione del gran Newton. Questi non solo studiò e verificò le sperienze del fisico italiano, ma le variò, le moltiplicò e le rischiarò in guisa con nuove deduzioni, che da quell'epoca venne aggiunto alla scienza dell'ottica un nuovo ramo, *l'analisi del fluido luminoso colla teorica della colorazione*. Noi faremo conoscere queste importanti dottrine colle relative sperienze, da cui vengono dichiarate.

807. Per un foro F del diametro di 3 in 4 millimetri, praticato nel-

l'imposta della finestra della camera nera, s'introduce mediante il portaluce (§. 759) o mediante l'eliostata (§. 760), un fascio di raggi solari SR (fig. 87), che produce direttamente sopra un piano od uno scrimaglio bianco un circolo illuminato C. Interponendo a questo fascio il prisma A col vertice orizzontale, esso è rifratto e forma sullo scrimaglio medesimo un'imagine BD allungata nella direzione verticale, e terminata superiormente ed inferiormente in due semicircoli e lateralmente da due rette parallele, la cui distanza eguaglia il diametro del circolo C, che si otteneva senza l'interposizione del prisma. Quest'imagine in tal modo prodotta chiamasi *spettro prismatico* o *spettro solare* la cui lunghezza dipende dall'angolo d'incidenza del fascio luminoso, dall'angolo rifrangente e dal potere rifrattivo del prisma. Ciò che vi ha di rimarchevole nello spettro si è che esso presenta dei colori, dei quali si distinguono principalmente sette, cioè verso l'alto il colore *rosso*, che è il meno deviato dalla direzione primitiva del fascio luminoso, e poscia seguono per ordine, allontanandosi sempre più dalla direzione medesima, l'*aranciato*, il *giallo*, il *verde*, l'*azzurro* o *turchino*, l'*indaco* e il *violaceo* o *pavonazzo*. Si potrebbe istituire l'esperienza disponendo il prisma coll'angolo rifrangente rivolto inferiormente, ed allora la deviazione dei raggi si farebbe dal basso verso l'alto in direzione contraria alla precedente. Quando la camera oscura è molto ristretta, converrà istituire l'esperienza col prisma verticale, nel qual caso la deviazione dei raggi luminosi succede orizzontalmente a destra od a sinistra secondo la posizione dell'angolo rifrangente.

Se il foro F è piccolo e la distanza dello scrimaglio dal prisma è considerabile, i colori dello spettro diventano assai distinti. L'estremità B è d'un rosso assai carico, che per gradazioni impercettibili si cambia in aranciato, questo in giallo, il giallo in verde, il verde in azzurro, l'azzurro in indaco e quest'ultimo in violaceo. Non si scorge sullo spettro veruna linea di separazione, ed all'occhio il meglio conformato è assai difficile di distinguere i limiti dei differenti colori. Tutti questi spazi non presentano per ciò egual intensità di colore, e la differenza si ravvisa principalmente andando dal color verde verso il violaceo, in cui l'intensità diventa minore di quella verso il rosso. Newton ha creduto di distinguere nell'estensione di quei sette colori degli intervalli, che avrebbero fra loro l'egual rapporto dei sette tuoni della gamma musicale (§ 705). Ma quelle lunghezze variano secondo la qualità della materia del prisma; e mentre Newton pel vetro, di cui era formato il suo prisma, ha creduto di rinvenire

quei rapporti, i fisici posteriori trovarono ch'essi cambiano secondo la qualità della materia del prisma, come rinvenne Fraunhofer pel cristallo flinto. Dividendo in 360 parti eguali l'intera lunghezza dello spettro, coi vetri prismatici di cui si sono serviti i due fisici nominati, gli spazi colorati occupano le lunghezze seguenti:

| | Newton | | Fraunhofer |
|---|---|---|---|
| Rosso . . . | 45 | — | 56 |
| Aranciato . . | 27 | — | 27 |
| Giallo . . . | 40 | — | 27 |
| Verde . . . | 60 | — | 46 |
| Azzurro . . . | 60 | — | 48 |
| Indaco . . . | 48 | — | 47 |
| Violaceo . . . | 80 | — | 109 |
| Lunghezza totale | 360 | — | 360 |

Questi colori non hanno inoltre la medesima chiarezza. Il rosso è all'estremità B comparativamente d'un chiarore debole, che aumenta avvicinandosi all'aranciato. La luce si accresce sempre più sino al mezzo del giallo, ove è più brillante, e va decrescendo gradatamente sino all'estremità D dello spettro, nella quale essa è molto debole. L'estremo rosso per la sua poca rifrangibilità riesce più distinto dell'estremo violaceo, e da quest'ultima parte lo spettro per minime gradazioni debolissime ed impercettibili si va perdendo nel-l'oscurità.

Newton cadde in errore sull'analogia ravvisata dei sette colori prismatici coi sette tuoni musicali, supponendo che essi avessero un rapporto costante come questi ultimi; mentre quei rapporti variano secondo la qualità del mezzo rifrangente. Siccome dai diversi tuoni si ha una serie indefinita di combinazioni, che fanno una grata sensazione sui *nervi acustici* e costituiscono la musica; così Castelli credette dalle diverse combinazioni dei colori prismatici di presentare ai *nervi ottici* un somigliante effetto e di costituire un *gravicembalo oculare* nello stesso modo che vi ha quello *auriculare*.

Il fenomeno dello spettro si produce con prismi di qualunque materia, e i colori riescono tanto più distinti quanto più è grande il potere rifrattivo della medesima. Importa altresì che il prisma non abbia veruna bolla, un angolo rifrangente almeno di 60°, e che le sue facce siano perfettamente piane e sia posto vicino al foro per dove entra il fascio luminoso. Lo spettro acquista anche in bellezza nei

suoi differenti colori, quando il fascio luminoso, avanti di transitare pel prisma, si concentra con una lente convessa. Volendo osservare ciascun colore e ciascuna tinta separatamente dalle altre, si riceve lo spettro sopra un cono di cristallo col vertice rivolto verso il prisma. Il raggio colorato, che cade sulla superficie conica, ne è riflesso e forma all'intorno un cerchio colorato. In tal modo si può osservare ciascun raggio colorato separatamente dagli altri dello spettro.

Che la luce bianca sia composta di parecchi raggi differentemente colorati, non solo si prova coll'analisi istituita mediante il prisma, ma ben anche colla sintesi riproducendola nella riunione dei raggi colorati medesimi. Primieramente si ha la ricomposizione della bianca luce combinando assieme i raggi colorati con un secondo prisma di eguale materia e d'egual angolo rifrangente A' collocato in posizione contraria al prisma decomponente A (fig. 97). Coll'accoppiamento del secondo prisma A' si ha di nuovo in C la luce bianca solare. Per tale sperienza può servire la cassetta parallelipeda altrove descritta (§. 793) divisa diagonalmente in due compartimenti. Versando dell'acqua o altro liquido in uno dei compartimenti si ha un prisma liquido, col quale si ottiene lo spettro colorato del fascio luminoso bianco, da cui è attraversato; riempiendo del medesimo liquido anche l'altro compartimento i raggi colorati si riuniscono e si ricompongono dando luogo di nuovo alla bianca luce solare.

Coi raggi colorati si ricompone la bianca luce solare per mezzo di uno specchio concavo o d'una lente convessa riunendoli al loro fuoco rispettivo, dove apparisce l'imagine bianca prodotta dal rimescolamento dei raggi colorati medesimi. Quest'imagine si raccoglie sopra uno scrimaglio per meglio osservarla. Lo specchio e la lente per questa sperienza devono avere una piccola apertura; altrimenti i raggi, che molto si discostano dall'asse, non si rimescolano nel fuoco e lasciano un contorno colorato all'imagine bianca.

La terza sperienza, per riunire i raggi colorati e riottenere la bianca luce solare, si istituisce coll'*apparecchio dei sette specchi*. Si raccoglie lo spettro sullo scrimaglio AB (fig. 88) munito di sette fori pei quali passano i raggi colorati, ciascuno dei quali cade sopra uno dei sette specchi piani dell'apparato PQ. Si rivolge ogni specchio in modo sul suo asse che ripercuota il raggio colorato nel medesimo punto M. Succede in questo punto il rimescolamento dei diversi raggi colorati e danno luogo all'imagine bianca, la quale prova per sintesi la ricomposizione della luce coi sette colori, in cui è stata divisa coll'analisi mediante il prisma.

A dimostrare la stessa verità serve il *prisma a fessure* (fig. 89), il quale consiste in un prisma cavo a pareti d'ottone in cui sono praticate a convenienti distanze delle fessure A, B, C, D ecc., *a*, *b*, *c*, *d* ecc. che si chiudono con lastre di vetro a superficie parallele. Sulla faccia MN s'invia col portaluce un gran fascio di luce solare, i cui raggi entrano per le fessure della faccia MN nel prisma cavo e ripassano nell'aria per le fessure dell'altra faccia PQ. Si hanno con ciò altrettante imagini bianche quante sono le fessure praticate nella parete. Ora si empisca d'acqua o d'altro liquido la capacità del prisma, e i fasci parziali si decompongono nei loro raggi colorati e risultano gli spettri S. Questi spettri, ad una piccola distanza dal prisma, rimangono separati l'uno dall'altro, poscia s'intersecano fra loro, i colori si mescolano e formano la luce bianca, la quale s'indebolisce sempre più, sinchè ad una maggior distanza i raggi colorati seguitano la loro direzione rettilinea e vengono a dipingere un solo spettro come se vi fosse una sola apertura nel prisma. In quest'esperienza si vede che nei luoghi dove concorrono tutti i raggi colorati ricomparisce la luce bianca solare.

I sette raggi colorati furono ritenuti da Newton come *luce elementare* od *omogenea*, e furono da lui chiamati *raggi semplici* o i *raggi elementari* della bianca luce solare. Si chiamano eziandio *colori prismatici*, *colori dello spettro solare*, i quali pel fenomeno eguale, che presenta l'arco baleno come vedremo nella parte terza, vennero anche denominati *colori dell'arco baleno*, *colori dell'iride*, o *colori semplici*. Secondo Newton dunque la luce sarebbe una sostanza composta di sette raggi elementari, giacchè se fosse semplice dovrebbe formare ancora un'imagine bianca e non uno spettro variopinto. Esamineremo più avanti se i raggi elementari sono sette o si riducano ad un minor numero.

808. Da questi esperimenti risulta dunque che: 1° un fascio di luce bianca solare è composto di differenti raggi diversamente rifrangibili e colorati, essendo il rosso meno rifrangibile dell'aranciato e questo meno del raggio giallo e così successivamente degli altri raggi colorati sino al violaceo che è il più rifrangibile; 2° i raggi luminosi componenti il lumico bianco, pel loro differente grado di rifrangibilità, dipingono uno spettro diversamente colorato.

Le due estremità, inferiore e superiore, dello spettro terminano in semicircolo, mentre lateralmente i limiti ne sono costituiti da due rette parallele. È questa una conseguenza del diverso grado di rifrangibilità dei raggi elementari, che compongono ciascuno strale di

luce bianca. Ogni strale infatti anche tenuissimo di questa luce si risolve nei sette raggi elementari differentemente colorati, e quello posto verso l'alto forma un'imagine rossa circolare eguale all'imagine diretta C (fig: 87); poscia l'imagine aranciata egualmente circolare, che per la maggiore rifrangibilità viene un poco abbassata, si sovrappone per la maggior parte a quella rossa meno nel lembo superiore; in seguito viene l'imagine gialla, che si abbassa ancor più, e così successivamente delle altre imagini colorate. Questa sovrapposizione eccentrica delle diverse imagini circolari e colorate produce un allungamento in quella totale, la quale viene ad avere la forma semicircolare agli estremi e rettilinea lateralmente, costituita quest'ultima dai punti di tutte quelle imagini circolari comuni alla stessa tangente. Lo spettro quindi si vede rappresentato nella fig. 90, dove le estremità *ad*, *bc* sono due semicircoli, e i lati *ab*, *cd* due rette formate dall'intersezione di tutti i circoli delle imagini. Dall'analisi della forma dello spettro si apprende anche come le imagini di ciascun raggio elementare colorato, sovrapponendosi gradatamente le une alle altre, producono nel loro rimescolamento dall'estremo rosso all'estremo violaceo le gradazioni di colorazione, che si sono osservate. È per questa ragione che, concentrando il fascio luminoso bianco con una lente convessa, i raggi elementari diventano più distinti, perchè in questo caso nel transitare pel prisma si separano d'un maggior intervallo in causa della divergenza, che hanno nel partire dal fuoco dove furono concentrati dalla lente.

La differente rifrangibilità dei raggi colorati non solo è una conseguenza della forma dello spettro; ma si dimostra anche direttamente con alcune esperienze. Si riceva lo spettro prodotto dal prisma A (fig. 91) sopra lo scrimaglio D, il quale è munito d'un piccolo foro *f*. Si faccia passare successivamente per questo foro uno dei raggi colorati, che si presenta ad un secondo prisma B, da cui viene rifratto. Senza cambiare la posizione di questo secondo prisma, si osserva che il raggio rosso è il meno deviato per la rifrazione, che prova nell'attraversare il prisma medesimo B; mentre il raggio violaceo è quello che prova la maggior deviazione, e tutti gli altri hanno delle deviazioni più o meno grandi secondo che si trovano più o meno vicini al violaceo.

Allo stesso scopo serve l'esperimento dei *prismi incrociati*. Ad alcuni centimetri di distanza dal primo prisma orizzontale A, se ne colloca un secondo B, verticale (fig. 92): per la rifrazione che i raggi colorati subiscono dal prisma B, lo spettro, che prima si dipingeva

sullo scrimaglio nella posizione verticale *pq*, è trasportato orizzontalmente e prende la posizione *mn* inclinata all'orizzonte. Esso non solo è allungato nel verso verticale *pq*, ma è allargato anche nella sua sezione orizzontale *mn*. Il raggio violaceo ha subíto orizzontalmente la maggior deviazione e quello rosso la minore, e gli altri in proporzione secondo che sono più vicini all'uno o all'altro di quei due raggi estremi.

S'illumini colla luce rossa dello spettro una carta stampata in caratteri molto piccoli, e i raggi riflessi da questa carta si raccolgano sopra una lente a grande distanza focale, per la quale si produce la loro imagine, che si riceve sopra un cartone bianco collocato a quella distanza dove le lettere stesse compariscono meglio nette e distinte. Se poscia i caratteri della stessa carta vengono illuminati colla luce violacea, si trova che, per avere mediante la stessa lente la loro imagine netta e distinta, bisogna avvicinare notabilmente il cartone bianco alla lente. Nel primo caso i raggi rossi, come meno rifrangibili, sono riuniti in punti focali posti a maggior distanza dalla lente di quando l'illuminamento della carta stampata era fatto colla luce violacea dotata di rifrangibilità più grande. Per la luce intermedia dello spettro si richiede una distanza pure intermedia a quelle necessarie per la luce colorata dei due estremi.

La quarta sperienza, diretta a provare la massima rifrangibilità del raggio violaceo in confronto del rosso meno rifrangibile di tutti, e così in proporzione degli altri intermedii, s'istituisce col prisma rettangolare A (fig. 93). Si dispone il prisma in modo che il fascio luminoso S, nell'attraversarlo, formi lo spettro colorato VR. Se si rivolge il prisma intorno al suo asse in modo che aumenti l'angolo d'incidenza sulla seconda faccia, aumenta del pari l'angolo d'emergenza di ciascun raggio colorato sino al punto che, giunto a quello eguale all'angolo limite, la rifrazione si cambia in riflessione totale. In questa rotazione si osserva che il primo raggio emergente, che scomparisce, è il violaceo V e poscia l'indaco e successivamente gli altri sino al rosso R, che è l'ultimo. Ciò prova che il primo è dotato della massima e gli altri successivamente di minore rifrangibilità, sino al rosso che ha la minima.

809. Si è detto che la lunghezza dello spettro dipende dall'angolo rifrangente e dalla forza rifrattiva della materia di cui si compone il prisma, mentre la larghezza eguaglia sempre il diametro dell'imagine bianca. Infatti, per la posizione orizzontale del prisma, la rifrazione dei raggi luminosi succede nella direzione verticale, e quindi la lar-

ghezza non deve subire alcuna variazione e deve conservarsi eguale all'imagine bianca; come infatti si conserva ripetendo l'esperienza con prismi di differenti materie servendosi del poliprisma pei solidi e di quello pei liquidi (§. 791); come pure con prismi di diverso angolo rifrangente.

Si mostra che la lunghezza dipende dall'angolo rifrangente mediante il *prisma variabile*, nel quale il mezzo rifrattivo è l'acqua od un altro liquido. Esso si compone di due lastre AB, CD di vetro a superficie esattamente parallele, che formano le due facce del prisma (fig. 94), e sono poste in telai fatti con liste d'ottone e mobili a mastiettatura sul fondo MN in modo che possono essere inclinate sotto diversi angoli misurati dall'arco graduato EF. Lateralmente le due facce del prisma sono congiunte con una pelle animale a pieghe in modo da lasciare libere le due facce di essere più o meno aperte ed essere inclinate fra loro sotto qualunque angolo. In tal modo si ha una capacità, nella quale versando dell'acqua risulta un prisma liquido, il cui angolo rifrangente può essere variato dando alle due facce di vetro AB, CD un'inclinazione più grande. Alcuni prismi variabili hanno le pareti laterali fatte di lamine d'ottone, contro le quali si muovono ad esatto combaciamento le due facce mobili. Si preferiscono d'ordinario le pareti di pelle, perchè col semplice combaciamento di due metalli si richiede una grande esattezza per la tenuta del liquido. Ciò che importa è il parallelismo delle superficie delle lastre di vetro e la giusta posizione e divisione dell'arco graduato, che misura l'angolo rifrangente.

Sostituendo questo prisma variabile a quello A della figura 87, quando esso è vuoto non imprime veruna deviazione al fascio luminoso SB, da cui è attraversato, il che dimostra il parallelismo delle superficie delle facce; ma riempiendolo di liquido, il fascio luminoso è rifratto e decomposto formando sullo scrimaglio lo spettro. Variando l'inclinazione delle due facce AB, CD varia del pari la deviazione dei raggi colorati e la lunghezza dello spettro. Col prisma variabile si può mostrare il cambiamento di lunghezza dello spettro sostituendo all'acqua diversi altri liquidi, come alcoole, aceto e simili, tenendo però costante l'angolo d'inclinazione delle due facce.

Da quanto si è esposto intorno alla formazione dello spettro (§. 808) si deduce che, quando la sua lunghezza BD (fig. 87) è maggiore del doppio della sua larghezza, l'imagine circolare del raggio violaceo estremo non si sovrapporrà all'imagine circolare del raggio rosso, che forma l'altro estremo, e quindi partendo da B si avrà sino in D la gra-

dazione dei colori, che si è notata. Quando però la lunghezza è minore del doppio della larghezza, vi sarà uno spazio verso il mezzo dello spettro dove si sovrapporranno tutte le imagini elementari colorate necessarie a comporre la luce bianca, e lo spettro perciò verso il mezzo dovrà in parte comparire bianco. Questo è appunto confermato dalla sperienza servendosi del prisma variabile, col quale s'impicciolisce l'angolo rifrangente diminuendo l'inclinazione delle due facce e lo spettro si raccorcia: quando la sua lunghezza risulta minore del doppio della sua larghezza, si trova che verso il mezzo comparisce la luce bianca.

810. I colori elementari, come abbiamo veduto, sarebbero sette secondo Newton, cioè il *rosso*, l'*aranciato*, il *giallo*, il *verde*, l'*azzurro*, l'*indaco* e il *violaceo*. Dai fisici posteriori essi furono ridotti a minor numero, e secondo gli esperimenti di *Petrini* (1), *Wünchs* (2) e *Prieur* (3) sembra che si possano ridurre ai tre, *rosso*, *verde* e *violaceo*. L'aranciato non sarebbe altro che una mescolanza di rosso e verde con eccesso del primo, e il giallo deriverebbe dalla stessa mescolanza con eccesso del secondo. Parimenti l'azzurro risulterebbe dalla riunione del verde col violaceo con eccesso del verde, e l'indaco con eccesso di violaceo. Infatti si trova che, riunendo in un sol punto M per mezzo dell'apparecchio della figura 88 i tre raggi rosso, verde e violaceo, si ha la luce bianca egualmente come coi sette raggi colorati, per cui essi sono gli elementi degli altri quattro colori. Sperimentando nella stessa maniera col raggio rosso e verde si hanno appunto i colori aranciato o giallo secondo che predomina il rosso od il verde, e ripetendo la medesima sperienza coi due raggi verde e violaceo si hanno i colori intermedii facendo sovrabbondare l'uno o l'altro dei due colori elementari. Newton inoltre ha ammesso che ognuno dei sette raggi dello spettro fosse semplice, perchè nel sottoporre ad una seconda rifrazione ciascuno dei medesimi si serviva di prisma d'egual materia; talchè se lo spettro era prodotto, per es., da un prisma di crovno, faceva passare per un secondo prisma della stessa materia il raggio, per es., giallo, il quale dopo la seconda rifrazione compariva ancora dello stesso colore. Ma se si adopera un prisma dotato di maggior forza decomponente, come uno di flinto, si è trovato che i tre raggi rosso, verde e violaceo passano senza dar

(1) *Memorie della Società italiana delle scienze*, t. XIII.

(2) *Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichts*, Lipsia 1792.

(3) *Annales de Chimie*. Parigi, prima serie, t. LIV.

luogo a diversi colori; mentre gli altri quattro raggi aranciato, giallo, azzurro ed indaco, quando attraversano il secondo prisma di flinto, danno luogo ad uno spettro variopinto. I tre fisici nominati sono giunti con diverse sperienze e quindi per cammini differenti a dimostrare che i raggi elementari o primitivi si riducono ai tre nominati rosso, verde e violaceo. Appunto perciò il giallo riunito coll'indaco somministra il bianco, perchè in quei due colori si trovano i tre elementi della luce bianca, cioè rosso, verde e violaceo. Lo stesso avviene dell'aranciato mescolato coll'azzurro, trovandosi in essi i tre raggi elementari necessarii alla composizione della luce bianca. Queste deduzioni nel sistema delle ondulazioni si ritengono come riferibili all'effetto fisiologico, che la luce produce sull'organo della vista, e non come inerenti alla sua natura, il cui effetto differente dipende da una modificazione di movimento nelle onde.

811. Allorquando si osservano attentamente gli spettri formati da prismi di differenti materie, si riconosce tosto che i diversi colori, quantunque sempre disposti nel medesimo ordine, non occupano delle lunghezze proporzionali. Il prisma di flinto, per es., dà in proporzione meno rosso e più violaceo d'un prisma di crovno. Qualche altra materia presenta differenze più sensibili. Lo stesso colore è in generale più o meno rifratto e sviluppato in uno spazio più o meno grande secondo la natura delle materie. Il fenomeno si trova evidentemente collegato cogli indici di rifrazione corrispondenti a ciascun colore. Vedremo quanto prima come Fraunhofer abbia scoperto nello spettro certe striscie, che servono a determinare l'indice di rifrazione dei raggi colorati, ed avanti di lui non si conoscevano metodi sicuri e precisi per tale determinazione.

Chiamasi *dispersione* la quantità più o meno grande, di cui i raggi colorati vengono fra loro deviati nello stesso mezzo; e *forza di dispersione*, o *potenza* o *forza dispersiva* la causa, qualunque essa sia, per la quale si produce l'allontanamento d'un raggio colorato da un altro. La dispersione dunque è la differenza degli indici di rifrazione particolari per ogni materia a ciascun raggio colorato. La differenza fra l'indice dei raggi rosso e violaceo dà la *dispersione totale*. Fra le materie solide e liquide più comuni, l'acqua è il mezzo meno dotato di dispersione, il crovno è dotato di maggior forza dispersiva dell'acqua e il flinto ancor più del crovno. L'indice di rifrazione del diamante per l'estremo raggio violaceo è di 2,467 e pel rosso estremo di 2,441, e la loro differenza 0,056 risulta più del doppio di 0,0208 o della medesima differenza pel crovno. Per rendere chiara nella

scuola la differenza di facoltà dispersiva delle materie, si formino due spettri d'egual lunghezza, l'uno prodotto con l'olio di cassia versato nel prisma variabile, onde impicciolire l'angolo rifrangente sinchè *lo* spettro divenga eguale a quello generato dall'acido solforico posto nel prisma pei liquidi colle pareti tutte di vetro (§. 785). Il primo spettro sarà come AB (fig. 95): e il secondo come CD. In quello dell'olio di cassia gli spazi rossi, aranciati e gialli sono minori che nell'altro prodotto dall'aeido solforico; mentre gli spazi azzurro, indaco, e violaceo sono più grandi. I raggi meno rifrangibili sono per così dire, contratti nel primo e sviluppati nel secondo spettro; mentre i raggi più rifrangibili sono sviluppati in quello e contratti in questo. Questa differenza negli spazi colorati porta il raggio di mezzo *mn* in un colore differente nei due spettri: in quello d'olio di cassia esso cade nell'azzurro e nell'altro dell'acido solforico nel verde. Questa differenza di rapporti negli spazi colorati produce la differenza di dispersione delle due materie.

L'indice di rifrazione *n* varia notabilmente secondo le diverse specie di materie, nel vetro comune, secondo i risultati di Newton e dei fisici posteriori, esso ha prossimamente i seguenti valori pei diversi raggi dello spettro solare.

1° Dal confine estremo dei raggi rossi sino al confine di quelli aranciati il valore di *n* è compreso fra 1,5400 ed 1,5425.

2° Dal confine degli aranciati a quello dei gialli fra 1,5425 ed 1,5440.

3° Dai gialli ai verdi fra 1,5440 ed 1,54667.

4° Dai raggi verdi agli azzurri fra 1,54667 ed 1,55000.

5° Dagli azzurri ai raggi dell'indaco fra 1,5500 ed 15533.

6° Dai raggi dell'indaco ai violacei fra 1,5533 ed 1,5555.

7° Dal confine dei raggi violacei sino a quello inferiore fra 1,5555 ed 1,5600.

Esaminando questi valori si trova che i raggi di media rifrangibilità assoluta cadono fra i verdi e gli azzurri. Siccome poi la maggiore intensità di luce non corrisponde a quella situazione dello spettro, ma verso la terza parte dei raggi gialli; così nei calcoli per le lenti ad uso degli strumenti ottici si ritengono verso quel punto raggi di media rifrangibilità, per non dare troppa influenza a quellii violacei, i quali sono dotati di luce debolissima.

Quanto più i singoli valori dell'indice *n* differiscono dal valor medio, tanto più grande risulta la separazione dei colori nello spettro, e quindi tanto più grande la dispersione operata dal mezzo rifrangente. Se l'in-

dice medio di rifrazione per una data materia è $n'$ e quello relativo ad un altro raggio colorato $n''$, mentre gl'indici analoghi per un'altra materia sono $m'$ ed $m''$, le quantità $n''-n'$, $m''-m'$ riescono proporzionali alle dispersioni operate dalle due materie medesime ed il loro quoziente $\frac{n''-n'}{m''-m'}$ chiamasi *rapporto di dispersione*. Il quale esprime il *rapporto della dispersione totale*, se $n'$, $n''$, $m'$, $m''$ rappresentano rispettivamente gl'indici di rifrazione dei raggi estremi rosso e violaceo; ed il *rapporto della dispersione parziale* quando $n'$, $n''$, $m'$ $m''$ sono gl'indici di rifrazione di due raggi consecutivi per le due materie.

Per conoscere il rapporto di dispersione fra due materie importa di determinare l'indice di rifrazione per ogni raggio colorato; ma la picciolezza dei valori di quelle differenze, e l'indecisione dei limiti dei colori nello spettro lasciava dei dubbii sui risultati ottenuti, sinchè Fraunhofer ha scoperto nello spettro medesimo certe striscie, che hanno servito a meglio stabilire la posizione degli stessi raggi colorati.

812. Wollaston nell'anno 1802 annunziò che nello spettro, prodotto mediante un prisma di flinto senza veruna bolla e senza vene, si vedevano due linee oscure e fisse l'una nell'azzurro e l'altra nel verde, allorquando l'oggetto luminoso consisteva in una tavola della larghezza di $\frac{1}{20}$ di pollice (poco più d'un millimetro) ed osservato alla distanza di 10 in 12 piedi o di metri 3,05 in met. 3,66. Questa scoperta passò inosservata e nessuno si occupò di verificarla o di contraddirla.

Quindici anni dopo Fraunhofer, guardando attraverso un telescopio lo spettro formato da un sottile raggio solare mediante bellissimi prismi di flinto, scoperse che la superficie dello spettro medesimo presentava trasversalmente in tutta la sua lunghezza delle linee oscure di differenti grossezze, con interposti degli spazi illuminati. Queste striscie rettilinee sono in gran numero ed ascendono a ben 600, la più grande delle quali sottende un angolo di 5 in 10 secondi di grado. Esse aumentano o diminuiscono di numero in proporzione della grandezza dello spettro solare. L'autore si assicurò, adoperando diversi prismi e diversi cannocchiali e in altri modi, che non dipendevano da imperfezione dei vetri nè da illusioni ottiche. Fraunhofer ne rimarcò particolarmente sette B, C, D, E, F, G, H (fig. 96) come distinte dalle altre e facili ad essere rinvenute. La striscia B è nel *rosso* vicino al suo orlo esteriore; C è larga e nera e si trova al di là del *mezzo del rosso*; D è situata nell'*aranciato* ed è una linea forte, dop-

pia e distinta colle due parti quasi della medesima grandezza e separate da una linea brillante; nel verde è collocata la striscia E, che si compone di parecchie linee, essendo quella di mezzo più forte delle altre; nell'*azzurro* si rinviene la striscia F assai marcata ; la striscia G si presenta nell'*indaco* e l'altra H nel *violaceo*. Queste striscie occupano tutte un determinato posto e si presentano sempre collo stesso ordine comunque venga variato l'angolo rifrangente e la materia del prisma, variando solo in ogni caso le loro scambievoli distanze secondo la grandezza dello spettro. Il concorso dei raggi omogenei, secondo la loro rifrangibilità particolare, succede in corti spazi, lasciando in altri quelle striscie oscure senza luce.

Si riscontrano, come si disse, altre linee meno distinte delle precedenti ma che meritano di essere mentovate. In *a* vi ha una linea oscura e ben marcata nel rosso, e ad egual distanza dal confine A dei rossi e dalla striscia B si osserva un gruppo di 7 in 8 linee formanti in tutto una banda oscura. Fra B e C vi hanno 9 linee; fra C e D altre 30 e fra D ed E 84 di grandezze differenti. Fra E, *b* se ne trovano 24 e in *b* vi sono tre linee assai marcate con uno spazio brillantissimo fra le due più grandi; fra F, *b* ve ne hanno 52, fra F, G se scorgono 185 e infine fra G, H se ne vedono 190 essendo parecchie di esse riunite alla G.

Le *strisce dello spettro* consistono dunque in certe linee più o meno oscure o brillanti coll'interposizione di spazi illuminati dall'uno o l'altro colore. Il loro numero, la loro disposizione e la loro intensità sono invariabili, purchè lo spettro sia prodotto sempre dalla medesima luce. La luna ed i pianeti, riflettendo verso noi la luce che ricevono dal sole, presentano gli stessi fenomeni nello spettro; in Venere si ravvisano le medesime striscie della luce solare diretta, ma esse si distinguono meno facilmente verso le estremità dello spettro. Le stelle fisse dotate di luce propria danno luogo a qualche variazione nelle striscie. Nello spettro di Sirio non si possono vedere le linee fisse del giallo e dell'aranciato, e nel verde vi ha una striscia assai marcata e due nell'azzurro, che non rassomigliano a quelle della luce solare riverberata dai pianeti. Castore dà uno spettro eguale a quello della stella Sirio, e Polluce presenta parecchie striscie deboli e fisse che somigliano a quelle del pianeta Venere.

Nello spettro della luce elettrica si osserva un gran numero di linee brillanti, l'una delle quali rimarchevole per la sua intensità si trova nel verde; e in quello della fiamma d'una lucerna non sicontiene veruna delle striscie oscure e fisse, che si trovano nello spettro solare. Nello

spazio occupato dal color aranciato si scorge una linea brillante e più distinta che il resto dello spettro. Essa è doppia e si rinviene nello stesso luogo D dello spettro solare. La fiamma dell'idrogeno e dell'alcoole presentano le stesse apparenze di quella dell'olio; e qualche particolarità differente dello spettro solare presenta pure la luce dei carboni ardenti. Lo spettro della fiamma alimentata dal cannello avvivatore contiene parecchie linee distinte e brillanti. Herschel ha fatto parecchie osservazioni di questo genere ed ha trovato che nello spettro della fiamma del cianogeno si riscontrano differenti parti limitate da parecchie striscie oscure disposte in un modo particolare. Queste striscie dividono con una certa uniformità la lunghezza dello spettro, e le parti luminose presentano tutte presso a poco il medesimo splendore. La fiamma dei fuochi rossi (*red fire*), che s'impiega nelle rappresentazioni teatrali abbruciando del nitrato di stronziana, presenta due striscie rosse brillanti. Lo spettro offre parecchie soluzioni di continuità; ma la circostanza più rimarchevole è una linea moltissimo brillante d'un vivo azzurro ed assolutamente distinta dal rimanente. La fiamma del potassio, che abbrucia nell'iodio, dà una disposizione singolare di striscie. La luce proveniente da un gambero marino, che si accosta allo stato di putrefazione, è d'un verde azzurrognolo. Esaminata col mezzo del prisma, somministra uno spettro di luce troppo debole per poter distinguere qualche differenza di colore fra il mezzo e le estremità (1). Brewster ha pure fatto un diligente esame dello spettro del sole ed anche di altre luci. Egli ha trovato in quello della fiamma del nitro in combustione, il raggio rosso annunziato da Talbot, che unitamente ad altri raggi occupa il luogo della linea A (2).

Chi volesse osservare il fenomeno delle striscie deve dirigere l'oggettivo del cannocchiale verso il prisma, pel quale lo spettro viene formato, in modo che, tolto il prisma stesso, si veda chiaramente il foro, per cui la luce solare entra nella camera nera. La distanza del cannocchiale dal prisma è di 12 in 14 centimetri, e tutto l'apparato si allontana dal foro di circa 7 metri. Lo spettro si riceve sull'oggettivo, pel quale viene portato all'oculare dello strumento dove si colloca l'occhio dell'osservatore. Le striscie più distinte non si ravvisano sui confini di ciascun colore, e lateralmente ad esse si riscontra il

(1) Si vegga la *Correspondance mathématique*, t. v, fascicolo 4.

(2) Si veggano gli *Annali* più volte citati, prima serie, t. xi, pag. 78, e seconda serie, t. iii, pag. 164.

medesimo colore che per insensibili gradazioni va cambiandosi e si trasforma nel seguente. Bisogna variare la posizione dall'oculare nel passare dall'uno all'altro spazio colorato dello spettro, e ciò per il differente grado di rifrangibilità dei colori, nel quale si riuniscono più o meno distanti dall'oculare, come meglio faremo conoscere parlando della visione. Ingrandendo il foro per dove entrano i raggi solari nella camera nera, le striscie divengono sempre più confuse, senza però allontanarsi dalle loro posizioni, e le più piccole sono le prime a scomparire. Le soluzioni di continuità, che per le striscie si osservano nello spettro, mostrano che i gradi di rifrangibilità non aumentano dal rosso al violaceo per gradazioni insensibili, dal momento che nelle medesime si presentano delle parti, dove manca completamente la luce.

Le striscie dello spettro danno dunque un carattere distintivo fra la luce del sole e quella delle stelle fisse, ed è la sola differenza che si conosca nella proprietà luminosa di quegli astri. Esse presentano altresì delle proprietà caratteristiche per le luci naturali ed artificiali, e sono un passo fatto dalla scienza per guidarci a scoprire la vera origine del fluido luminoso.

Fraunhofer ha ottenuto i seguenti rapporti della facoltà illuminante dello spettro solare:

| *Colori dello spettro* | *Striscie* | *Facoltà illuminante* |
|---|---|---|
| Chiarezza all'estremo rosso in | A | insensibile |
| « in | B | 0,0320 |
| « in | C | 0,0940 |
| « nell'aranciato in | D | 0,6400 |
| « nel giallo | Massima fra D ed E situata all'incirca a 0,3 dell'intervallo DE partendo da D. | 1,0000 |
| « nel verde in | E | 0,4800 |
| « nell'azzurro in | F | 0,1700 |
| « nell'indaco in | G | 0,0310 |
| « nel violaceo in | H | 0,0056 |
| « all'estremo violaceo | | insensibile. |

Nel giallo dunque trovasi la massima facoltà illuminante, la quale decresce molto rapidamente avvicinandosi verso le due estremità dello spettro, trovandosi che in H essa è poco più di $\frac{5}{1000}$ di quella massima. Il raggio più luminoso si approssima di più al rosso che al vio-

laceo nella proporzione di 1 a $3\frac{1}{2}$. Questi risultati sono approssimativi, non potendosi agevolmente confrontare l'intensità di due lumi di differente colore.

813. Le striscie più distinte, essendo facilmente riconoscibili nello spettro ed occupando in esso un luogo determinato, hanno servito alla determinazione degli indici di rifrazione di ciascun colore con maggiore precisione di quanto si era precedentemente fatto. In tal modo si può valutare più esattamente la dispersione prodotta dai diversi mezzi rifrangenti secondo le norme indicate (§. 811). Abituatosi con l'osservazione a ben distinguere nello spettro solare le sette striscie diverse nominate e il posto che occupano relativamente a ciascun colore, si procede coi metodi insegnati alla determinazione degli indici dei diversi raggi. Esaminando lo spettro solare prodotto dai diversi mezzi rifrangenti, si è riconosciuto in generale che *la forza dispersiva è indipendente da quella rifrattiva*; e quando uno di queste sia determinata non si può in veruna maniera dedurne l'altra, ma bisogna rinvenirla coll'esperienza. Due mezzi possono avere egual forza rifrattiva, e tuttavia essere forniti di differente forza dispersiva; come è il caso di qualche specie di flinto, che non differisce molto nella forza rifrattiva dal crovno, ma è molto più dispersivo. Parimenti l'olio di trementina rifrange qualche cosa meno del crovno, ma disperde di più la luce, come risulta dalle valutazioni esposte nei seguenti quadri. Si è veduto altresì (§. 811) che i prismi di due materie differenti possono dare uno spettro solare d'eguale lunghezza, ma coi raggi colorati differentemente diffusi. Fraunhofer ha determinato coi metodi suindicati gl'indici di rifrazione nello spettro solare prodotto da differenti mezzi, che si trovano esposti nel quadro seguente coll'indicazione delle striscie cui appartengono.

| MEZZI RIFRANGENTI | PESO SPECIFICO | Indice di rifrazione dei raggi colorati dello spettro secondo le striscie, che si osservano nel medesimo | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B. rosso | C. rosso | D. aranciato | E. verde | F. azzurro | G. indaco | H. violaceo |
| Acqua . . . . | 1,000 | 1,330935 | 1,331712 | 1,333577 | 1,335851 | 1,337818 | 1,341293 | 1,344177 |
| Soluzione di potassa | 1,416 | 1,399629 | 1,400515 | 1,402805 | 1,405632 | 1,408082 | 1,412579 | 1,416368 |
| Olio di trementina . | 0,885 | 1,470496 | 1,471530 | 1,474434 | 1,478353 | 1,481736 | 1,488198 | 1,493874 |
| Crovno n° 1 . . | 2,235 | 1,525832 | 1,526849 | 1,529587 | 1,533055 | 1,536052 | 1,541657 | 1,546566 |
| Crovno n° 2 . . | 2,756 | 1,554774 | 1,555933 | 1,559075 | 1,563150 | 1,566741 | 1,573535 | 1,579470 |
| Flinto n° 1 . . . | 3,723 | 1,627749 | 1,629681 | 1,635036 | 1,642024 | 1,648266 | 1,660285 | 1,671062 |
| Flinto n° 2 . . . | 3,512 | 1,602042 | 1,603800 | 1,608494 | 1,614532 | 1,620042 | 1,630772 | 1,640373 |

Prendendo la differenza degli indici di rifrazione del violaceo e del rosso, si avrà la dispersione per ciascuna delle materie precedenti, come è esposto nel seguente quadro.

| | | |
|---|---|---|
| Acqua . . . . . . . . | dispersione . . | 0,013242 |
| Soluzione di potassa . . | « . . | 0,016749 |
| Olio di trementina . . . | « . . | 0,023378 |
| Crovno n° 1 . . . . . . | « . . | 0,020734 |
| Crovno n° 2 . . . . . . | « . . | 0,024696 |
| Flinto n° 1 . . . . . . | « . . | 0,043313 |
| Flinto n° 2 . . . . . . | « . . | 0,038331 |

Abbiamo veduto che dividendo la dispersione totale, o quella parziale $n''—n'$ d'una materia per la dispersione analoga $m''—m'$ di un'altra si ha il *rapporto di dispersione* (§. 811). Il rapporto totale di dispersione del flinto n° 1 per rispetto all'acqua è dunque espresso da $\frac{43313}{13242}$ ossia eguale a 3,271, il che mostra che il flinto è più del triplo dispersivo dell'acqua. La dispersione parziale delle due materie pel colore verde e l'azzurro è $\frac{1,648266-1,642024}{1,337818-1,335851}=3,173$. Si è in tal modo che si è calcolato il seguente quadro dei rapporti di dispersione parziale e totale delle materie, di cui si è dato precedentemente l'indice di dispersione.

TAVOLA *dei rapporti di dispersione parziale e totale di parecchie materie prese due a due.*

| MATERIE RIFRANGENTI | B, C | C, D | D, E | E, F | F, G | G, H | Totale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Flinto n° 1 ed acqua . | 2,486 | 2,871 | 2,193 | 3,173 | 3,459 | 3,737 | 3,271 |
| Flinto n° 1 e crovno n° 1 | 1,900 | 1,956 | 2,015 | 2,083 | 2,144 | 2,195 | 2,089 |
| Flinto n° 2 e crovno n° 2 | 1,517 | 1,494 | 1,482 | 1,534 | 1,579 | 1,619 | 1,552 |
| Trement. e crovno n° 1 | 1,017 | 1,061 | 1,130 | 1,129 | 1,153 | 1,156 | 1,128 |
| Crovno n° 2 ed acqua | 1,492 | 1,685 | 1,792 | 1,826 | 1,956 | 2,058 | 1,865 |
| Trementina ed acqua . | 1,331 | 1,557 | 1,723 | 1,720 | 1,861 | 1,968 | 1,765 |
| Trementina e potassa | 1,167 | 1,215 | 1,386 | 1,381 | 1,437 | 1,498 | 1,397 |

Dall'ultimo quadro risulta, ciò che altrove abbiamo accennato (§. 811), che l'acqua fra le materie solide e liquide più comuni è la meno dispersiva, avendo il flinto n° 1 una dispersione totale più del triplo maggiore di quella dell'acqua e il crovno n° 2 quasi doppia; e tutte le altre materie essendo più o meno dispersive di quel liquido. Egli è perciò che l'acqua dà lo spettro meno lungo d'un prisma eguale formato cogli altri corpi.

Esaminando l'ultimo quadro si scorge che i rapporti della dispersione parziale delle diverse sostanze differiscono l'uno dall'altro e in generale aumentano dal rosso al violaceo. Si osserva però fra alcune materie una diminuzione fra le strisce D, E poste nei colori arancciato e verde, come è del flinto n° 1 e dell'acqua, e del flinto n° 2 e del crovno n° 2. Inoltre fra la trementina e il crovno n° 1 i rapporti di dispersione parziale procedono quasi eguali, e il minimo rapporto si trova compreso fra la seconda e terza striscia.

Chiamasi *potere dispersivo* d'una materia il quoziente che risulta nel dividere la sua dispersione pel suo indice medio di rifrazione diminuito dell'unità, essendo l'indice medio quello corrispondente alla media rifrazione. Supponiamo d'avere un prisma di crovno A (fig. 87), per l'interposizione del quale il fascio luminoso SR produce lo spettro BD; si sostituisca ad esso un prisma di flinto con un angolo rifrangente tale che, quando si trova nella posizione A, è dalla luce penetrato ed attraversato sotto angoli eguali e rifrange il raggio medio nel medesimo punto. I due prismi avranno la medesima rifrazione media; ma lo spettro prodotto dal flinto si estende al di là degli estremi B, D ed è più lungo di quello prodotto dal prisma di crovno. È per ciò che si dice avere il flinto un poter dispersivo maggiore del crovno, perchè sotto il medesimo angolo di rifrazione media ha una distanza più grande dei raggi estremi dello spettro da quello medio. Se s'istituissero le sperienze con prismi di angoli rifrangenti tali che ne risultasse l'eguale indice di rifrazione media; allora la dispersione indicherebbe in ogni materia anche il potere dispersivo. Ma alloraquando si sperimenta con prismi, che diano un differente indice di rifrazione media, allora si dimostra con considerazioni matematiche che il potere dispersivo è espresso dal valore precedentemente indicato. L'indice di rifrazione del flinto n° 1 pel raggio violaceo è di 1,671062 e pel rosso di 1,627749, talchè la dispersione risulta 0,043313. L'indice medio di rifrazione è poi 1,649405, e scemato dell'unità dà pel potere dispersivo del flinto il quoziente $\frac{0,043313}{0,649405} = 0,066696$. Calcolando nello stesso

modo, si ottiene pel potere dispersivo del crovno n° 1 il numero 0,038668. Il potere dispersivo dunque di quel flinto è qualche cosa meno del doppio del potere del crovno; mentre la dispersione è più del doppio.

814. La differenza di rifrangibilità dei raggi componenti la bianca luce solare produce dunque la dispersione, la quale ha luogo allorquando la luce medesima attraversa un mezzo qualunque. Avviene in parecchi casi che, per la forma delle superficie del mezzo come pure per la natura di lui, la dispersione riesce insensibile. Quando però il mezzo ha tal forma che i raggi subiscano una grande deviazione dal loro cammino rettilineo, la dispersione si manifesta più o meno sensibile e produce delle imagini di diverso colore in differenti posizioni, per cui nasce una confusione od una imperfezione che altera la visione attraverso i mezzi, come vedremo nella seguente sezione. Questa imperfezione costituisce ciò che in ottica si chiama *aberrazione di rifrangibilità*, per distinguerla dall'*aberrazione di sfericità* comune alle lenti ed agli specchi, la quale proviene dall'essere i raggi molto discosti dall'asse rifratti o riflessi in punti differenti dal fuoco.

Sulla lente AB si faccia cadere un fascio di luce solare (fig. 97), il quale viene decomposto ne' suoi raggi colorati e rifratto convergente. Ricevendo i raggi sopra uno scrimaglio bianco, per es. un cartone, ed avvicinandolo più o meno alla lente, si osserva che al fuoco F l'imagine è bianca, più vicino alla lente in R essa è bianca al centro e circondata verso l'orlo d'un'aureola di color rosso misto di giallo, mentre ad una maggior distanza V il contorno risulta violaceo ed azzurro. Nella posizione F i raggi colorati, riunendosi in un sol punto, si rimescolano e ricompongono la bianca luce solare; mentre nell'altra R i raggi rossi e gialli, come meno rifrangibili, rimangono verso l'orlo e lo circondano dell'aureola di quei colori, e nella terza posizione V i raggi violacei ed azzurri, dopo essere stati riuniti nel fuoco, si separano divergenti e colorano l'orlo dell'imagine. Quando dunque vi ha compiuta sovrapposizione dei raggi colorati risulta l'imagine bianca, la quale rimane contornata dell'uno o dell'altro colore secondo che i raggi elementari, per la loro differente rifrangibilità, si riuniscono dopo o prima cogli altri che formano l'imagine.

Si può rendere ancor più manifesto nella scuola il risultato di questo sperimento tagliando nel cartone un contorno circolare, il quale lascia nel centro uno spazio pieno di alcuni millimetri di diametro. Ricevendo i raggi solari rifratti dalla lente in modo che il centro

dell'anello coincida coll'asse ottico: quando il cartone è nella posizione F, i raggi cadono sullo spazio pieno e vi formano un'imagine bianca; nella posizione R i raggi rossi e gialli, come meno rifrangibili, cadono nello spazio vuoto e passano dall'altra parte del cartone, dove formano, sopra uno scrimaglio bianco, prima un'aureola rossa ed un poco più distante una giallognola. Nella posizione V sono i raggi più rifrangibili che vengono a corrispondere all'anello vuoto e formano sullo scrimaglio un'aureola violacea od azzurra secondo che il cartone è più o meno vicino al fuoco della lente.

Quando i raggi incidenti non sono paralleli e il corpo lucido è uno spazio più o meno grande, i raggi luminosi dei diversi punti irradianti si riuniscono in siti differenti (§. 801) e questi contorni colorati dell'imagine si scorgono anche nella posizione del fuoco F, per cui in ogni lente si manifesta più o meno l'aberrazione di rifrangibilità.

815. Questa specie di difetto è un grande inconveniente per la visione colle lenti applicate agli strumenti diottrici, e se ne è con molte sperienze e molti studi cercato il rimedio. Se la lente ha una grande distanza focale, l'aberrazione diventa di maggiore appariscenza e l'imagine che ne risulta al fuoco posteriore, rimane confusa, formando i raggi colorati per la differente loro rifrangibilità diverse imagini, che non vengono a coincidere e confondersi nello stesso luogo. La prima è la violacea, cui succede quella di color indaco e poscia l'azzurra e così successivamente delle altre, essendo la rossa l'ultima e la più distante di tutte. Ed è appunto questa la cagione di quei contorni colorati, di quelle iridi che si ravvisano intorno alle imagini degli oggetti guardati con istrumenti formati di lenti semplici, come sono gli antichi telescopi diottrici, di cui parleremo nella seguente sezione.

Per diminuire questo inconveniente si suoleva restringere l'apertura della lente, con cui veniva guardato l'oggetto, lasciando libera la sola parte centrale. Si rivestiva all'intorno d'un anello di piombo o di altro corpo opaco, e s'impediva in tal modo l'entrata nella lente dei raggi, che cadevano sull'orlo e che sono quelli maggiormente rifratti per la loro deviazione e quindi più decomposti. Escludendo quei raggi estremi di passare per la lente, si scemava l'estensione delle imagini colorate, per cui riuscivano meno confuse. Queste imagini acquistavano per tal modo in nettezza per essere diminuita così anche l'aberrazione di sfericità.

Questo rimedio, oltre non correggere bastantemente l'aberrazione di rifrangibilità, dava origine all'inconveniente di diminuire considera-

bilmente la chiarezza delle imagini per la diminuzione della quantità di luce, che attraversava la lente, perdendo così il vantaggio che si doveva aspettare da una grande lente applicata allo strumento ottico. Alcuni artefici erano però pervenuti a costrurre degli strumenti molto potenti, nei quali la lente rivolta verso l'oggetto, avendo una piccola curvatura, poteva ritenere una grandezza sufficiente per ricevere una grande quantità di luce. Ma il prezzo di queste lenti era molto elevato per la grande difficoltà che presentavano nell'essere lavorate, ed inoltre l'uso n'era incomodissimo. Se ne costruirono di quelle che avevano una distanza focale di 30 in 40 metri. Per farne uso si assicuravano all'estremità superiore di una grande trave, e verso l'estremità inferiore, nel luogo dove cadeva il fuoco della lente, si congegnava il tubo, che portava le lenti, cui applicava l'occhio l'osservatore. Questi giganteschi strumenti riuscivano incomodi nell'uso, venivano adoprati soltanto nell'oscurità della notte ed a cielo aperto, e si fecero con essi parecchie scoperte astronomiche. Essi divennero inutili dopo l'invenzione degli strumenti cattadiottrici cioè fatti di specchi e di lenti, e specialmente caddero del tutto in dimenticanza dopo d'avere scoperto il modo di costruire le *lenti acromatiche.*

Chiamasi *lente acromatica* o in generale *mezzo o vetro acromatico* quello composto di materie tali che, senza togliere la proprietà di radunare i raggi luminosi, ne corregge la dispersione. Dicesi poi *acromatismo* la proprietà stessa di cui sono dotati i mezzi rifrangenti composti di due o più materie differenti. Il primo a ravvisare la possibilità di correggere l'aberrazione di rifrangibilità sembra essere stato Eulero. Egli nel 1747 considerava essere l'occhio umano un vero strumento ottico, il quale fa vedere gli oggetti senza confusione e non produce l'aberrazione di rifrangibilità. Quale può essere la causa che dà all'occhio umano una superiorità così grande sulle lenti artificiali? Considerando bene quell'organo si scoprì ch'esso è composto di mezzi di differente natura e densità, e che le loro curvature sono differenti, da cui si dedusse che la luce nell'occhio doveva bensì essere soggetta a diverse dispersioni, ma che queste mutuamente si compensavano, riunendo gli elementi della luce che erano stati separati nell'attraversare l'occhio. Si concepì sin d'allora la fiducia d'imitare quel mirabile artificio della natura, combinando assieme mezzi di differente densità e terminati con convenienti curvature, ed Eulero coll'aiuto del calcolo giunse a trovare una giustificazione di tale opinione.

Era però necessario dapprima conoscere i dati coll'esperienza, sui

quali basare i calcoli; e una tale idea restò infruttuosa, perchè ai risultamenti delle considerazioni e dei calcoli di Eulero si opponeva l'autorità di Newton. Questi da una sua esperienza aveva dedotto che, quando la luce attraversa mezzi differenti e ne emerge bianca ed incolorata, le rifrazioni si compensano, e mentre si evita così il difetto dell'aberrazione di rifrangibilità, si distrugge la deviazione dei raggi luminosi per concentrarsi nel fuoco e non si produce veruna imagine, per cui lo strumento sarebbe senza effetto. La questione rimase per qualche tempo in tale stato, quando Dollond nel 1755, mosso da uno scritto del geometra svedese Chlingensternia con cui attaccava l'esperienza di Newton colla ragione e colla geometria, si fece a ripetere l'esperienza medesima e ad esaminarne le conseguenze. In un prisma ad angolo variabile (§. 809) fatto con acqua poneva un prisma di cristallo con l'angolo rivolto verso l'alto, per cui doveva rifrangere la luce in direzione opposta a quella del prisma d'acqua. Dollond facendo variare l'angolo di questo prisma, ne ritrovava facilmente la grandezza affinchè le rifrazioni prodotte dai due prismi si compensassero e la luce non subisse veruna deviazione dal suo cammino rettilineo. In tal modo gli oggetti attraverso al doppio prisma comparivano precisamente nello stesso sito dove si vedevano ad occhio nudo. Era questo il caso dell'esperienza di Newton: quantunque le rifrazioni pei due prismi fossero esattamente compensate, la luce però riusciva colorata, e gli oggetti guardati attraverso il doppio prisma erano ancora contornati da frange colorate sensibilissime. Dollond pertanto, a forza di prove e riprove e di cambiare l'angolo del prisma ad acqua, pervenne a ritrovare una posizione tale che i colori scomparivano completamente e la luce usciva bianca ed incolorata. Ma in tale disposizione dei due prismi i raggi rimanevano ancora in parte deviati dal loro cammino rettilineo, e gli oggetti veduti attraverso i medesimi non comparivano più nel loro vero posto.

Questa sperienza mostrò dunque il principio fondamentale dell'acromatismo, cioè che *la forza rifrangente non concorda nei diversi mezzi con quella di dispersione*, come sino allora si era creduto. La rifrazione si attiene di più alla densità del mezzo, mentre la dispersione dipende dalla natura del medesimo. Si riconobbe quindi che, potendosi rendere nulla la dispersione senza distruggere del tutto la rifrazione, si aveva fiducia di togliere agli strumenti ottici il difetto dell'aberrazione, che rende confuse le imagini, il quale perfezionamento non si sarebbe mai ottenuto se la rifrazione e la dispersione seguissero la stessa legge.

816. Dopo un'esperienza così decisiva, Dollond convenne in massima con Eulero e si occupò della ricerca di mezzi differenti ed a lavorarli secondo diverse curvature, onde raggiungere il prefisso scopo. Invece d'impiegare vetro ed acqua, che non differiscono abbastanza fra loro nella dispersione in rapporto alla rifrazione, si decise di far uso di vetri di differenti qualità. Prese il cristallo bianco detto flinto, che contiene del piombo e riesce molto dispersivo, ed il cristallo comune chiamato crovno, meno dispersivo. Le forze rifrangenti di queste due specie di vetri differiscono di poco fra loro, mentre riescono molto diverse le loro forze dispersive. Abbiamo già veduto (§. 813) che il flinto n° 1 e il crovno n° 2 hanno le loro dispersioni nel rapporto di 3 : 2. Con somiglianti materie Dollond giunse a costruire lenti acromatiche, le quali ricompongono la luce, danno le imagini senza colori, e lasciano ancora una deviazione dei raggi luminosi. In virtù di questa felice combinazione non era più necessario di coprire una parte delle lenti per gli strumenti ottici, e se ne composero di quelli con tali lenti che con mediocri dimensioni producevano effetti eguali a quelli dei più grandi telescopi. La scienza col calcolo diresse gli artisti per assicurare ai loro lavori un felice successo.

Una lente acromatica si compone di due o tre lenti applicate esattamente l'una sull'altra ed assestate in un sol corpo. Quando è composta di tre pezzi, quello intermedio è biconcavo di flinto, mentre gli altri due sono biconvessi o piano-convessi di crovno. Riuniti assieme questi pezzi si ha una sola lente composta, nella quale i raggi rifratti e dispersi in un verso dal primo crovno convesso sono rifratti in verso contrario dal pezzo concavo di flinto e provano nel terzo pezzo di crovno nuove rifrazioni, per le quali sono intieramente rimescolati pei loro colori conservando però parte della loro deviazione. Quest'effetto dipende dalla curvatura che si dà al pezzo intermedio, che deve produrre l'acromatismo. La riunione di quei tre pezzi di vetro forma dunque una lente biconvessa acromatica, la cui distanza focale dipende dalle convessità dei due pezzi estremi di crovno.

Nelle lenti acromatiche composte di due soli pezzi, l'uno è di crovno doppiamente convesso, mentre l'altro è di flinto concavo nella faccia a combacciamento col crovno e nell'opposta piano, oppure convesso ed anche concavo secondo le circostanze e i bisogni dell'arte. In virtù di questa disposizione, i raggi differentemente colorati dal crovno vengono ricomposti dal flinto, le cui curvature sono tali che esso solo riunisce i diversi elementi della luce, i quali erano stati separati nella prima rifrazione operata dal crovno. Le lenti acroma-

tiche composte di tre pezzi si preferiscono generalmente a quelle di due.

Le prime lenti acromatiche fatte da Dollond erano formate di due pezzi, quelle composte di tre vennero suggerite da Eulero. La forma dei pezzi componenti una lente acromatica nei diversi casi è indicata dal calcolo, che dimostra anche tutte le particolarità degli effetti dalle medesime prodotte.

817. Non è nostro istituto di estenderci nei calcoli, diretti a regolare nelle diverse circostanze la costruzione delle lenti acromatiche, al cui scopo furono scritte opere speciali (1). Per darne un'idea rammentiamo (§. 789) che $d=v\,(n-1)+v'\,(n'-1)$, dove $d$ è la deviazione dei raggi luminosi, $v$, $v'$ gli angoli rifrangenti di due prismi ed $n$, $n'$ gli indici di rifrazione delle materie, di cui sono formati. Se uno dei prismi è applicato all'altro rivolto in direzione contraria, allora sarà $d=v\,(n-1)-v'\,(n'-1)$. Mediante quest'ultima equazione si può determinare il rapporto degli angoli rifrangenti dei due prismi formati di materie note, affinchè si abbia niuna deviazione in un raggio di data rifrangibilità. Dovendo la deviazione essere nulla si avrà: $v\,(n-1)=v'\,(n'-1)$, da cui si ricava $v=v'\left(\frac{n'-1}{n-1}\right)$. Poniamo che la materia d'uno dei prismi sia crovno n° 1 e quella dell'altro di flinto n° 1 (§. 813): l'indice di rifrazione pei raggi della prima striscia del crovno è $n'=1{,}525832$, e l'indice corrispondente del flinto è $n=1{,}627749$. Sostituendo questi valori risulta: $v=v'.\ 0{,}8376$. Si apprende quindi che, dato l'angolo rifrangente $v'$ del prisma di crovno, quello di flinto deve essere poco più di $\frac{4}{5}$ del medesimo per fare che i raggi appartenenti alla prima striscia non subiscano veruna deviazione, vale a dire che, essendo l'angolo rifrangente del crovno di 20°, quello del flinto dovrà essere di poco più di 16°, o più esattamente 16°. 45'. 7'',2. Pei raggi dell'ultima striscia dello spettro è $n=1{,}671062$ ed $n'=1{,}546566$, e per conseguenza $v=v'.\ 0{,}8145$. Se quindi il prisma di crovno ha l'angolo rifrangente di 20° quello del flinto deve essere di 16°. 17'. 24'',0, che risulta dal prodotto di 20° per 0,8145.

Accoppiando dunque un prisma di crovno con uno di flinto ad

(1) Fra i libri italiani di questo genere, che possono essere consultati con profitto, è l'opera in due volumi: *Teorica degli strumenti ottici destinati ad estendere i confini della visione naturale*, del prof. Gio. Santini, Padova 1828.

angoli contrapposti, se il primo ha l'angolo rifrangente di 20° e il secondo di 16°. 17'. 24'',0, il fascio di luce bianca, da cui è attraversato il doppio prisma, viene decomposto e nell'emergere i raggi violacei della settima striscia risultano paralleli al fascio incidente, mentre i raggi rossi della prima striscia rimangono inclinati verso la base del prisma di crovno, non diventando paralleli al raggio incidente che per un prisma di flinto di 16°. 45'. 7'',2. Che se si togliesse il prisma di flinto, quello di crovno produrrebbe nei raggi una maggiore deviazione, ossia essi si allontanerebbero ancor più dal cammino rettilineo senza l'interposizione di verun prisma. Si osservi che per conseguire l'acromatismo i raggi luminosi devono emergere dal doppio prisma non paralleli al fascio di luce incidente, ma bensì paralleli fra loro. Ora s'ingrandisca gradatamente l'angolo del prisma di flinto da 0° a 16°. 17'. 24'',0, sinchè se ne trovi uno di tale grandezza pel quale in unione col prisma di crovno i raggi della prima e della settima striscia emergano fra loro paralleli, ed un tal angolo sarà quello dell'acromatismo.

Per rintracciare il valore dell'angolo dell'acromatismo, chiamiamo con $d_1$, $d_7$ le deviazioni dei raggi della prima e della settima striscia, e colle analoghe notazioni gl'indici di rifrazione corrispondenti e si avrà:

$$d_1 = v\,(n_1-1) - v'\,(n'_1-1); \qquad d_7 = v\,(n_7-1) - v'\,(n'_7-1).$$

Siccome poi le deviazioni $d_1$, $d_7$ devono risultare eguali, affinchè i raggi emergenti riescano fra loro paralleli, così si avrà:

$$v\,(n_1-1) - v'\,(n'_1-1) = v\,(n_7-1) - v'\,(n'_7-1);$$

donde si ricava $v = v'\left(\frac{n'_7-n'_1}{n_7-n_1}\right)$. Sostituendo i valori di cui ci siamo serviti precedentemente, si ha: $v = v'\,\frac{1,546566-1,525832}{1,671062-1,627749}$, dalla quale si deduce $v = v'.\ 0,4787$, dove ritenendo pel prisma di crovno l'angolo rifrangente $v' = 20°$ quello $v$ del flinto risulta di 9°. 34'. 26',4.

Un prisma dunque di crovno della qualità superiormente indicata n° 1 e dell'angolo rifrangente di 20° ed uno di flinto della qualità n° 1 (§. 813) e dell'angolo rifrangente di 9°. 34'. 26'', 4, riuniti assieme cogli angoli contrapposti daranno un'imagine sensibilmente bianca. Il fascio luminoso conserva ancora una deviazione, che si trova coll'equazione, che dà il valore di $d_1$ o coll'altra che dà il valore $d_7$, sostituendo agli angoli rifrangenti dei prismi e degli indici

di rifrazione i numeri equivalenti. Tanto per $d_1$ quanto per $d_7$ si ha la deviazione di 4°. 50′. 23″,7, la quale risulta negativa per essere dalla parte della base del prisma di crovno, il cui angolo rifrangente si è chiamato $v'$. Ecco dunque la luce emergente incolora e con rifrazione, vale a dire che si ha un sistema rifrangente acromatico. Per formare un prisma acromatico di tre pezzi si procederebbe nello stesso modo, valutando dapprima la dispersione per due pezzi l'uno di crovno e l'altro di flinto, e poscia, considerando questo prisma binario come d'un solo pezzo, rinvenire l'angolo rifrangente d'un terzo prisma di crovno per conseguire l'acromatismo.

Nelle scuole per dimostrare con un esperimento il principio dell'acromatismo si ha un prisma composto di tre pezzi, quello di mezzo formato di flinto ed i due estremi di crovno, congiunti a mastiettatura metallica sopra un'asta posta sopra un basamento, in modo che l'angolo rifrangente del flinto sia contrapposto ai due di crovno. Facendo cadere un fascio di luce bianca sopra il primo prisma di crovno, si ha deviazione e dispersione, vale a dire che i raggi nell'attraversare il prisma sono allontanati dalla loro direzione rettilinea e danno uno spettro colorato. Accoppiando il secondo prisma, che è capovolto e di flinto, la deviazione si annulla e lo spettro rimane ancora colorato verso l'orlo. Riunendo infine ai primi due il terzo prisma, che è di crovno, si ha l'imagine incolora e la deviazione, si ha cioè l'acromatismo. L'apparato di cui mi serviva nella scuola per dimostrare questo principio fondamentale dell'acromatismo, si componeva di tre prismi di crovno e di flinto tali che il primo di crovno aveva l'angolo rifrangente di 20°, il secondo di flinto l'angolo contrapposto di 18°, il terzo prismetto di crovno l'angolo di 14°. Con questo apparato si dimostra che, pei rapporti di dispersione delle due materie crovno e flinto, *si può avere dispersione senza rifrazione o deviazione, come pure si ottiene la rifrazione o la deviazione senza la dispersione.*

818. Si è superiormente accennato uno strumento, imaginato dal nostro Boscovich, per determinare l'indice di rifrazione delle diverse materie e da lui appellato *vitrometro* (§. 784); ora dobbiamo farlo conoscere perchè esso serve anche a rinvenire il rapporto di dispersione fra due specie di vetri.

Consiste il vitrometro in due pezzi prismatici ABC, *abfe*, di cui nella fig. 98 si rappresenta la sezione. Il primo ha una faccia circolare ACB, e l'altra AB è piana e ne è la corda; il secondo *abfe* è della stessa specie di vetro con una faccia *ef* circolare dello stesso

raggio di ACB, talchè l'arco *ef* si adatta esattamente sopra ACB. Le linee rette *ab, ae, bf* sono basi di altrettante facce piane e rettangolari del pezzo prismatico *abfe*. Gli archi circolari ACB, *ef* appartengono a circoli di raggi arbitrari; solo diremo che l'autore ha trovato conveniente la lunghezza di 20 in 26 centimetri e l'ampiezza di 25° a 30° pel maggior arco ACB. Lavorati e ben appianati i due pezzi prismatici di vetro della medesima specie, si sa che, quando il pezzo *abfe* si adatta sull'altro ACB in modo che *ab* riesca parallela ad AB, un raggio luminoso, che cade sulla faccia *ab* sotto qualunque incidenza, emerge per la faccia AB dall'altro pezzo in direzione parallela alla primitiva (§. 774) senza essere decomposto; anzi, per la poca grossezza dei due vetri, si può considerare che passi irrifratto e continui nel suo cammino rettilineo.

Si faccia ora scorrere il pezzo minore verso uno degli estremi dell'altro, per es. verso A, e si fermi in una qualunque posizione: in questo caso la faccia *ab* sarà inclinata colla faccia AB d'un certo angolo, che chiameremo $v$, misurato dall'arco trascorso dal pezzo minore *abfe* nel muoversi verso A, partendo dalla posizione del parallelismo delle due facce *ab*, AB. Un raggio di luce, che attraversi i due pezzi così disposti, sarà rifratto e decomposto nei suoi raggi elementari, provando delle rifrazioni e decomposizioni eguali a quelle, che sarebbero prodotte da un prisma intero formato della stessa materia e coll'angolo rifrangente eguale a $v$.

I due pezzi prismatici per l'uso sono montati sopra un piede, e quello più piccolo è assicurato ad un'alidada scorrevole lungo un circolo graduato e munita di nonio per avere le frazioni di grado (§. 144) e quindi la misura dell'arco trascorso dal piccolo pezzo partendo dallo zero della scala, dove le due facce *ab*, AB riescono fra loro parallele e la luce passa irrifratta.

Il vitrometro serve tanto per determinare l'indice di rifrazione quanto il rapporto di dispersione fra due specie di vetri. Diamo l'idea di questi due usi dello strumento incominciando dal primo. Il vetro proposto, per rinvenire l'indice di rifrazione, si taglia in un piccolo prisma coll'angolo rifrangente di 12 in 15 gradi e colle facce presso a poco eguali a quella *ab* del piccolo pezzo del vitrometro. Il prisma si unisce all'alidada dello strumento con cera in modo che alcuna delle sue facce sia ad esatto combaciamento con quella *ab* del pezzo mobile, e possa così scorrere per mezzo dell'alidada lungo l'arco ACB. Un raggio di luce solare, introdotto nella camera nera mediante l'eliostata, si riceve sul prisma aggiunto al vitrometro; talchè esso è

obbligato a transitare per tutto il sistema del prisma e del vitrometro. Se la divisione del nonio dello strumento corrisponde all'angolo zero, i raggi luminosi passano irrifratti pel solo vitrometro; e coll'aggiunta del prisma si ottiene il medesimo spettro, che si avrebbe dal prisma isolatamente nell'eguale posizione. Si muova ora l'alidada in quel verso pel quale il vitrometro forma un prisma ad angolo contrapposto a quello dell'aggiunto; in questo caso la rifrazione del vitrometro sarà contraria alla rifrazione del prisma aggiunto, e lo spettro andrà diminuendo sinchè si perverrà ad un punto, in cui si trasformerà in un circolo di luce bianca, e la rifrazione sarà interamente distrutta ritornando l'imagine solare alla sua posizione naturale, che prendeva senza subire veruna deviazione. Si noti in questa posizione l'angolo, di cui si è avvanzato il pezzo mobile *abfe* del vitrometro. Con questo dato e l'angolo rifrangente del prisma aggiunto, si ha l'indice di rifrazione del prisma medesimo. Infatti sia $v$ l'angolo rifrangente del prisma proposto ed $x$ il suo indice di rifrazione, mentre $a$ rappresenta l'angolo ottenuto col vitrometro ed $m$ l'indice di rifrazione della materia, di cui si compone. Siccome la deviazione nell'ultima posizione è zero, così si avrà, secondo i principii esposti (§. 789), la relazione $v\,(x-1)=a\,(m-1)$, donde si ricava $x=\frac{a}{v}(m-1)+1$.

Si osservi che, quando il prisma aggiunto ha una forza dispersiva differente da quella del vitrometro, l'imagine riesce bensì bianca nel mezzo, ma nel contorno appariscono i colori estremi dello spettro. È d'uopo in tal caso di far scorrere il pezzo mobile, sinchè gli estremi dell'imagine siano equidistanti dai limiti di quella, che prima si otteneva direttamente. Questo metodo di determinazione vale soltanto pei prismi ad angoli rifrangenti molto piccoli; servendo per quelli di angoli grandi le formole altrove dimostrate (§. 788) coll'introdurre in esse gli opportuni cambiamenti nei segni pel caso dei prismi l'uno posto in posizione contraria all'altro.

Si procede in un modo somigliante per determinare il rapporto di dispersione fra due materie. Ritenendo le denominazioni $m$, $a$ esprimenti l'indice di rifrazione del cristallo del vitrometro e l'angolo osservato col medesimo, per avere, come precedentemente, l'indice medio di rifrazione $n$ del prisma aggiunto d'angolo rifrangente $v$, si ottiene egualmente $n=\frac{a}{v}(m-1)+1$. S'istituisca altresì una seconda osservazione col vitrometro, nella quale si faccia scomparire, per es.,

il raggio violaceo: si ha così l'indice di rifrazione $n_7$, di questo colore coll'angolo segnato dal pezzo mobile, che diremo $a_7$ ed è pure $n_7 = \frac{a_7}{v}(m-1)+1$. La dispersione per rispetto al raggio violaceo risulta quindi $n_7 - n = \frac{1}{v}(m-1)(a_7-a)$. Operando egualmente col vitrometro sopra un prisma d'altra materia d'egual angolo rifrangente del primo ed adottando le denominazioni analoghe, si ha $n'_7 - n = \frac{1}{v}(m-1)(a'_7-a)$. Il rapporto di dispersione delle due materie sarà dunque (§. 811) $\frac{n_7-n}{n'_7-n} = \frac{a_7-a}{a'_7-a}$. Questo metodo però non gode della precisione del precedente, in cui la posizione di ciascun raggio colorato è stabilita colle striscie dello spettro.

819. Presentiamo un'idea della maniera di valutare le curvature per comporre una lente acromatica: sia a tal fine A una lente biconvessa di crovno (fig. 99), le cui facce appartengano a sfere d'egual raggio, e B una di flinto dello stesso raggio di curvatura nella faccia posta a combaciamento con quella di crovno. Si tratta di determinare la curvatura dell'altra faccia della lente B di flinto per conseguire l'acromatismo, o per condurre i raggi luminosi della prima e settima striscia a riunirsi alla medesima distanza, dopo aver attraversato il sistema lenticolare.

Sia $h$ il punto dove si riunirebbero i raggi paralleli rossi o quelli della prima striscia, se attraversassero la sola lente di crovno; è chiaro che, coll'unione della lente concava di flinto, i raggi medesimi saranno diminuiti nella loro convergenza e si concentreranno in un punto $g$ posto a maggior distanza dal sistema lenticolare. Imaginiamo ora in $g$ il punto luminoso: i raggi della prima striscia, nell'attraversare la sola lente di flinto, emergerebbero di tanto divergenti di quanto erano modificati nella loro scambievole direzione da quella di crovno, cioè la loro divergenza sarebbe tale che, prolungati, si riunirebbero nel punto $h$, che stabilisce appunto la distanza focale del crovno. Chiamando con $f$ la distanza focale principale $oh$ del crovno che rappresenta la distanza dal punto di riunione virtuale della lente biconcava, con $f'$ la distanza focale principale della lente di flinto, e notando con $x$ l'intervallo $og$ che rappresenta per la lente concava la distanza del punto luminoso, si avrà per la proprietà delle lenti concave (§. 797) la relazione $f = \frac{xf'}{x+f'}$, da cui si ricava $x = \frac{ff'}{f'-f}$.

Ora per l'acromatismo il valore incognito di $x$ deve essere il medesimo tanto pei raggi violacei o della settima striscia come pei rossi precedenti o della prima. Adottando quindi denominazioni analoghe, si avrà pei raggi della settima striscia $x=\frac{FF'}{F'-F}$. Da questi due valori eguali nasce l'equazione $\frac{ff'}{f'-f}=\frac{FF'}{F'-F}$.

La lente biconvessa di crovno è data, e fra il raggio di curvatura comune alle due facce e la distanza focale principale si ha in generale (§. 797), $p=\frac{Rr}{(n-1)(R+r)}$, ossia, per essere $r=R$, $p=\frac{R}{2(n-1)}$: per conseguenza nel nostro caso $f=\frac{R}{2(n-1)}$, ed $F=\frac{R}{2(N-1)}$. Per la lente di flinto i raggi $r$, R sono ineguali e quindi, adottando per essa la notazione precedente, sarà $f'=\frac{rR}{(n'-1)(R+r)}$, ed $F'=\frac{rR}{(N'-1)(R+r)}$.

Sostituendo i valori di $f$, $f'$, F, F' nell'equazione superiore, dopo alquante riduzioni si giunge ad $r=\frac{R\,(N'-n')}{2(N-n)-(N'-n')}$, che è il valore del raggio di curvatura della faccia posteriore della lente di flinto, essendo R quello delle due facce della lente di crovno e della faccia della lente di flinto a combaciamento con questa.

Poniamo, che la lente sia composta del crovno n° 1 e del flinto n° 1, di cui conosciamo gli indici dei raggi estremi (§. 813), e si avrà pel crovno $n=1{,}525832$, $N=1{,}546566$; e pel flinto $n'=1{,}627749$, $N'=1{,}671062$. Sostituendo questi valori risulta $r=-R.\ 23{,}476$. Il valore di $r$ risulta di segno contrario ad R come si sa, ed eguaglia quasi 23 volte e mezzo il raggio di curvatura dell'altra faccia. Se il raggio della superficie congiunta col crovno è di 10 centimetri, quello dell'altra faccia risulterà di centimetri 234,76.

Si è data un'idea del modo di costruire le lenti ed i prismi acromatici; tuttavolta dobbiamo notare che i calcoli per l'acromatismo devono essere diretti a fare scomparire le dispersioni parziali, per cui la determinazione della forma dei pezzi componenti la lente acromatica od il prisma richieggono grand'esattezza negli indici di ciascun colore e col calcolo si danno le norme per riunirli tutti assieme ed ottenere la luce bianca o incolora.

820. Nel sistema delle ondulazioni si fa dipendere il diverso grado di rifrangibilità dei raggi luminosi dall'inegual diminuzione o dal-

l'inegual aumento della velocità di propagazione, che essi provano nell'attraversare il nuovo mezzo, il che dà luogo ad un differente indice di rifrazione (§. 805) nelle diverse specie di luce e quindi a diversa direzione nel rifrangersi, per cui si separano. Ma quale è la causa che fa nascere quelle differenti velocità per lo stesso etere che si suppone uniformemente sparso nello spazio? D'altronde la diversa colorazione dei raggi si spiega colla stessa supposizione del diverso grado di velocità, ritenendo che l'onda luminosa, la quale genera in noi la sensazione della luce bianca, venga, nella rifrazione, divisa in onde di diversa lunghezza e che l'impressione d'ogni colore sia prodotta dalla lunghezza dell'onda dell'etere, come l'acutezza d'un tuono dipende da quella delle onde dell'aria. Le onde più corte producono il violaceo e le più lunghe il rosso.

Nella seguente tavola, data da Herschel, si trovano espresse in *milionesime parti di millimetro* la lunghezza delle onde di ciascun colore dello spettro e il numero *delle oscillazioni per ogni milionesimo di secondo di tempo* corrispondente al medesimo.

| *Colori dello spettro* | *Lunghezza d'un'ondulazione in milionesimi di millimetro* | *Numero delle oscillazioni per ogni milionesimo di secondo* |
|---|---|---|
| Rosso estremo | 676 | 458000000 |
| Rosso | 650 | 477000000 |
| Intermedio | 625 | 495000000 |
| Aranciato | 610 | 506000000 |
| Intermedio | 597 | 517000000 |
| Giallo | 577 | 535000000 |
| Intermedio | 556 | 555000000 |
| Verde | 538 | 577000000 |
| Intermedio | 516 | 600000000 |
| Azzurro | 498 | 622000000 |
| Intermedio | 480 | 644000000 |
| Indaco | 470 | 658000000 |
| Intermedio | 460 | 672000000 |
| Violaceo | 442 | 696000000 |
| Violaceo estremo | 424 | 727000000 |

Si è imparato quindi a conoscere l'assoluto valore della lunghezza di ciascun'onda; talchè all'analisi matematica rimane soltanto di mostrare come l'onda della luce bianca sia separata in parecchie altre di differente lunghezza. Finora questa spiegazione ha in suo favore

l'analogia della propagazione delle onde nell'acqua e nell'aria; ma a malgrado di tutti gli sforzi fatti dai fisici e dai geometri, la dispersione resta ancora uno scolio pel sistema delle ondulazioni.

Oltre i fenomeni della colorazione e della dispersione, che risguardano tanto da vicino la natura della luce, ve ne hanno altri i quali, quantunque sembrino molto differenti da quelli dichiarati, appartengono però alla stessa categoria e presentano dei fatti, che si attengono alla natura del fluido luminoso e possono meglio farci apprezzare quale dei due sistemi ottici si avvicina alla verità nell'imaginare il modo d'esistere di quel principio imponderabile.

821. Per un piccolissimo foro s'introduca un fascetto luminoso nella camera oscura e si faccia cadere sopra un sottilissimo filo od un capello ben teso: la larghezza dell'ombra non presenta il fenomeno ordinario, ma i raggi di luce, che radono il filo medesimo, deviano dalla direzione rettilinea e si piegano all'indentro, ed inoltre l'ombra è circondata da ambe le parti da frange colorate. Parimenti, ricevuta la luce sopra un piano bianco senza l'interposizione del filo, i fenomeni, che si osservano, sono così differenti da quelli manifestati ordinariamente con masse diffuse di luce, che si crederebbe d'aver prodotto un caso più complicato invece d'una semplificazione. Il più generale è una deviazione dalla legge di propagazione della luce per linea retta. Si vedono infatti nella camera oscura, oltre il movimento rettilineo, altri moti più deboli penetrare nell'ombra e scagliarsi nel lume da cui è circondata l'ombra medesima, rinforzandolo così in alcuni luoghi. I fenomeni, risultanti da tali deviamenti dei raggi luminosi dalla primitiva direzione, furono chiamati da Grimaldi col nome di *diffrazione* e poscia da Newton con quello d'*inflessione*, che non ha prevaluto. La *diffrazione* consiste in generale in modificazioni che la luce subisce quando lambisce l'orlo dei corpi. La colorazione che si ravvisa nelle bolle di sapone e nelle lamine sottili appartiene pure alla diffrazione, la quale riceve una facile spiegazione col sistema delle ondulazioni ed è un grande scolio per quello dell'emanazione.

La diffrazione fu scoperta e studiata con qualche estensione dall'italiano Grimaldi (1), e poscia da Young (2), da Fresnel (3) e da altri fisici. Noi riporteremo i fatti principali, che risguardano questo

(1) Si vegga l'opera: *Grimaldi physico-mathesis de lumine, coloribus et iride, libri duo*. Bologna 1665.

(2) Si vegga l'opera: *Cours of lectures on natural philosophy and the mechanical arts by Thomas Young*, vol. II. Londra 1807.

(3) *Annales de chimie et de physique*. Parigi 1819, seconda serie, t. XI.

fenomeno, il quale, come si disse, viene in appoggio al sistema delle ondulazioni, ed è stato la principal ragione per abbandonare quello dell'emissione adottato per molti anni sull'autorità di Newton.

822. Il fenomeno della diffrazione riesce meglio distinto quando la luce deriva da un solo punto irradiante; e per quanto il foro sia ristretto, esso ha sempre una grandezza molto considerabile in confronto d'un punto fisico. A tale scopo si fissa nell'imposta della finestra della camera nera una lente convessa *mn* a corta distanza focale (fig. 100). Un fascio di luce solare è trasmesso sulla lente e concentrato al fuoco *f*, da dove si dirama divergente formando un grande spazio circolare sopra lo scrimaglio *pq*, collocato a conveniente distanza. Ricevendo l'irradiazione luminosa del fuoco *f* sopra un sottilissimo filo metallico o un capello, di cui *ab* rappresenta ingrandita la sezione, la luce viene intercettata nel suo cammino, e secondo le leggi ordinarie (§. 744) dovrebbe formarsi sullo scrimaglio l'ombra *gh*. Appariscono invece i fenomeni seguenti:

Da ciascun lato *ag*, *bh* dell'ombra geometrica si osservano delle frange colorate. Queste *frange esterne* non sono i soli fenomeni che appariscono, ma nell'ombra si vedono altre *frange interne* pure colorate, che occupano l'estensione dell'ombra. Questo fatto è stato scoperto da Grimaldi e si può ottenerlo con luce omogenea, ponendo avanti alla lente *mn* un vetro colorato, che lascia passare e cadere sulla lente i raggi di un solo colore. In questo caso le frange compariscono alternativamente oscure e brillanti della luce medesima. Sperimentando con raggi di diverso colore, si trova che le frange sono più larghe per quelli rossi che pei violacei, e per gli altri raggi hanno larghezze intermedie. È per ciò che colla luce bianca si hanno le frange con gradazioni di colore. Si può sostituire al filo un piccolissimo dischetto d'un corpo opaco, per es., di foglia di stagnola o di argento incollato sopra una lastra di vetro per sostenerlo, ed allora le frange prendono la forma circolare e danno luogo ad anelli colorati. Vi ha una distanza a cui le frange riescono più distinte di altri luoghi posti più vicini o più distanti dal corpo diffrangente.

Queste frange si possono osservare con una lente o con un cannocchiale acromatico nello stesso modo che si osservano gli oggetti terrestri e celesti. Con questo metodo l'osservatore distingue meglio il fenomeno e lo mette in istato, mediante un apparato micromatico, di misurare gl'intervalli compresi fra le frange ed esaminarne i cambiamenti, che provano nelle differenti circostanze. Misurando le distanze di ciascuna frangia dall'asse dell'ombra, si è trovato che esse non

sono formate di linee rette ma di curve iperboliche, il cui vertice è sull'orlo del corpo opaco.

823. Se invece della lente si applica all'imposta della finestra una sottile lastra di metallo con un foro del diametro di poco più di mezzo millimetro, succede all'orlo del foro la diffrazione e compariscono sullo scrimaglio bianco posto a conveniente distanza le frange, le quali sono distribuite euritmeticamente intorno all'asse che passa pel centro del foro e si manifestano coi colori seguenti: 1a frangia. Violaceo, indaco, azzurro pallido, verde, giallo e rosso; 2a frangia. Azzurro, giallo e rosso; 3a frangia. Azzurro pallido, giallo pallido, e rosso pallido. Queste frange si dilatano nell'interno dell'ombra e formano uno spazio molto più largo di quello compreso fra le linee geometriche che determinano i confini dell'ombra medesima.

Il fenomeno riesce più distinto, se, ritenuta la lente che concentra la luce in un sol punto $f$, si pone dietro di essa in un tubo la lamina metallica munita del foro. La larghezza del foro e la sua distanza dal punto luminoso determinano la grandezza delle frange colorate, il loro numero e la curvatura delle linee nello spazio.

Le frange ottenute in tal modo, nel passare la luce rasente gli orli del foro circolare, formano tanti anelli colorati. Il fenomeno avviene con strette aperture rettangolari o d'altra forma; anzi, per istituire l'esperimento della diffrazione nella scuola e mostrarne le leggi, si fa uso dell'*apparato a fessura*, che vedesi rappresentato nella fig. 101. Consiste esso in un telaio d'ottone AB, al quale vi sono assicurate due lamine d'acciaio $m$, $n$ ben affilate e diritte, l'una delle quali rimane fissa e l'altra è mobile mediante una vite micrometrica $v$, con cui possono essere più o meno avvicinate le due lamine taglienti e comprendere una fessura più o meno ristretta. L'intervallo fra le due lamine o la grandezza della fessura si determina colla vite micrometrica nel modo altrove insegnato (§. 143). Il passo della vite è abbastanza piccolo e il raggio del cerchio graduato abbastanza grande per avere le centesime parti di millimetro. L'apparecchio è disposto sopra un piede come i prismi per poterlo collocare a differenti distanze dal punto luminoso. In generale si osserva che variando la distanza della fessura dal punto irradiante, come pure l'intervallo fra gli orli affilati delle lamine, varia del pari la posizione delle frange, le quali, quando la luce è omogenea o d'un sol colore, compariscono alternativamente luminose ed oscure. Quando la distanza è poco più d'un mezzo millimetro le frange prendono la forma come nella figura 102.

Le osservazioni sulla diffrazione si sogliono fare più comodamente con un apparato apposito chiamato *inflessioscopio*, il quale consiste in un tubo, dove la luce penetra per un piccolissimo foro oppure cade sopra un sottilissimo filo. Nell'uno e nell'altro caso ha luogo la diffrazione, che si osserva applicando l'occhio all'estremità opposta del tubo dello strumento, dove può essere applicata anche una lente per meglio distinguere il fenomeno.

824. I fenomeni precedenti furono scoperti da Grimaldi, che esperimentava colla luce bianca, i fisici che vennero dappoi non fecero che verificarli anche per la luce omogenea e misurare le larghezze delle frange con apparecchi dotati di maggior precisione. Egli esperimentò dirigendo eziandio la luce sul lato d'uno squadro, in maniera che l'asse del cono luminoso corrispondesse ad uno dei lati del medesimo, e ne ebbe per quella parte fenomeni somiglianti. Biot e Pouillet hanno riscontrato la diffrazione sugli orli delle superficie riflettenti, vale a dire che i raggi luminosi, che cadono prossimamente all'orlo non pulito d'un grande specchio e che sono riflessi secondo la legge conosciuta, non separano l'ombra dalla luce, ma producono delle frange nell'interno del fascio riflesso (1).

Qual è la causa di questi mirabili fenomeni? Nel sistema dell'emissione si ammetteva un'attrazione dell'orlo dei corpi diffrangenti sui raggi luminosi. Ma una tale ipotesi è contraddetta dall'esperienza, perchè l'attrazione dovrebbe variare secondo la natura delle materie dei corpi opachi, essendosi invece trovato che i fenomeni riescono sempre i medesimi, qualunque siano i corpi che inflettono la luce, poste pari le altre circostanze. Che siano essi metallici o non metallici; che siano d'acciaio semplice o magnetizzato; che siano elettrizzati o nel loro stato naturale, la diffrazione succede sempre egualmente. Inoltre Grimaldi ha trovato che un corpo già rischiarato può diventarlo meno aggiungendo nuova luce alla primitiva. Questa proposizione, egli dice, sembra all'annunzio un paradosso e dotata di nessuna probabilità; giacchè è proprietà caratteristica della luce di rischiarare gli oggetti, sui quali cade e non di renderli oscuri. Il paradosso però diventa una verità ben certa, potendosi dare ad essa la maggiore evidenza con un esperimento facile ad essere istituito.

Infatti egli introduceva nella camera nera la luce solare per due piccolissimi fori d'egual diametro ed abbastanza distanti l'uno dall'al-

(1) *Traité de physique expérimentale et mathématique*, par Biot, Parigi 1816, t. IV, pag. 743.

tro, affinchè i due fasci luminosi venissero a sovrapporsi in parte cogli orli delle due imagini circolari, che formano cadendo perpendicolarmente sopra uno scrimaglio bianco posto dirimpetto. Sia infatti *abcd* il cerchio illuminato prodotto dai raggi del primo foro ed *aefg* quello dei raggi del secondo (fig. 103), dove *adhg* riesce il comune segmento. Essendo le cose così disposte, si trova che il segmento *adhg* è bensì più rischiarato verso il suo asse; ma si riscontra invece che verso i suoi archi *adh*, *agh*, è sensibilmente oscuro quantunque un maggior numero di raggi luminosi vi cada che nelle altre parti degli spazi circolari illuminati. Che se si chiude il primo foro e s'impedisce così una doppia irradiazione luminosa sul segmento *adhg*, i punti posti sugli archi *adh*, *agh* privati di quella luce compariscono di più illuminati di prima, e lo stesso avviene se si lascia aperto il primo foro e si chiude il secondo. Da ciò si apprende dunque che, aggiungendo luce a luce, non sempre si ha un maggior illuminamento, anzi succede un oscuramento; e così all'inverso, levando una porzione di luce ad uno spazio oscuro si aumenta l'illuminamento. Si osservi che gli archi *adh*, *agh* presentano altresì dei colori.

Questi sperimenti furono molto tempo dopo ripetuti da Young con fori più o meno angusti e s'introdussero ben anche nelle scuole, avendosi i medesimi risultamenti con frange più o meno distinte secondo la grandezza e la posizione delle aperture. Fraunhofer le variò osservandone i fenomeni con un cannocchiale (1) In una lastra metallica, posta avanti l'oggettivo dello strumento, vi erano praticati quattro fori circolari ciascuno del diametro di poco più di millim. 0,40, in modo ch'essi formavano coi loro centri gli angoli d'un quadrato di quasi millimetri 0,74 di lato. Cadendo sulla lastra un fascio di luce, appariscono nel cannocchiale molte imagini colorate rappresentate nella fig. 104. Ogni compartimento indicato nella figura è il luogo d'uno spettro colorato. Molte altre osservazioni di questo genere ha fatto l'autore variando la forma e la distanza dei fori, nelle quali si presentano dei fenomeni somiglianti.

Le diverse modificazioni che subisce la luce nella diffrazione non possono essere dichiarate col sistema dell'emissione, mentre ricevono una facile spiegazione con quello delle ondulazioni; anzi esso ha preso fondamento su questi fenomeni.

(1) *Neue Modificationen des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben*, di Fraunhofer. Monaco 1822; ed *Annalen der Physik* ecc., di Gilbert 1823, fascicolo VIII.

823. La maggior parte dei fenomeni luminosi, di cui ci siamo intrattenuti, sono noti da molto tempo per le moltiplicate e sagaci indagini istituite dall'italiano Grimaldi, ed i fisici della presente età non hanno fatto che ripeterli, meglio definirli con misure più esatte ed aggiungervi qualche modificazione. Essi però hanno guidato ad un principio teorico, l'*interferenza del fluido luminoso*, dal quale nacquero altri fenomeni, che lo rendono più chiaro e su cui appoggiasi il sistema delle ondulazioni. *L'interferenza consiste nell'azione scambievole dei raggi luminosi, che s' intersecano colle onde di cui sono composti.*

Per convincersi dell'azione scambievole dei raggi luminosi, se ne introduca al solito un fascio nella camera nera e si riceva sopra una lente convessa a corta distanza focale, da cui sono concentrati in un sol punto, dopo di che proseguono divergenti il loro cammino. Alla distanza di due in tre metri dalla lente, si collochino due specchi metallici inclinati fra loro sotto un angolo molto ottuso e si diriga su di essi il fascio conico di luce. I raggi vengono riflessi e sembrano derivare da due punti situati di dietro agli specchi, e nella riflessione s'intersecano gli uni cogli altri nello spazio, dove formano delle frange colorate, le quali, se la luce è omogenea, sono alternativamente brillanti ed oscure. Esse riescono più distinte osservate con una lente o con un cannocchiale, e se ne misurano gl'intervalli mediante un apparato micrometrico. Le frange sono euritmeticamente disposte intorno alla linea brillante posta in mezzo alle due imagini, e se si copre uno degli specchi per impedire che la luce sia dal medesimo riflessa, le frange scompariscono, e l'altro specchio produce la riflessione ordinaria. In generale le frange presentano nella luce e nella forma gli eguali fenomeni della diffrazione.

Questa sperienza è di Fresnel ed allo scopo di meglio comprendere la maniera d'istituirla si esamini la fig. 105, che rappresenta gli specchi e le onde riflesse con una sezione fatta mediante un piano condotto pel punto luminoso S perpendicolarmente agli specchi medesimi ED, FD. Le posizioni geometriche delle due imagini risultano nei punti A, B determinati nel modo altrove insegnato (§. 757), i quali riescono i centri delle ondulazioni dei raggi riflessi dagli specchi. Si descrivano dai punti A, B delle circonferenze con linee nere, che rappresentino le ondulazioni in un verso, e con linee punteggiate quelle nell'opposto: è chiaro che, laddove succederà l'intersezione delle linee nere fra loro o delle punteggiate pure fra loro, vi sarà corrispondenza di movimento, ossia esso sarà diretto per lo stesso

verso, e perciò vi sarà aumento nelle loro celerità e quindi accrescimento di luce; mentre in quei punti, dove s'intersecano le linee nere colle punteggiate, vi sarà collisione di movimento, e se il loro moto è eguale esso si estinguerà e vi avrà oscurità, e se è disuguale si distruggerà soltanto in parte e risulteranno dei punti colorati, sapendosi che i diversi colori sono prodotti dai diversi gradi di velocità che prendono le onde luminose (§. 820).

Ora dal mezzo C, della distanza AB fra le due imagini, si conduca per la sezione D dei due specchi la retta CD prolungata dalla parte opposta. Essendo A l'imagine del punto luminoso S prodotta dal primo specchio ED, è SD=AD. Parimenti pel secondo specchio FD si ha SD=BD (§. 757). Dunque risulta AD=BD, e per conseguenza il triangolo ADC eguale BDC e CD perpendicolare alla retta AB congiungente i punti delle due imagini; le quali vengono ad essere per tal modo egualmente distanti dalla retta CD. Per cui tutte le ondulazioni che interferiscono sul prolungamento della CD hanno fatto eguale cammino, e quindi i loro movimenti si sommano e vi producono un accrescimento di luce. Infatti siano S*g*, S*h* due raggi incidenti, che si riflettano per *gb*, *hb* nel punto *b* posto sul prolungamento della retta CD. È chiaro che, per essere S*g*=B*g* ed S*h*=A*h*, risultano B*b*, A*b* rispettivamente i cammini percorsi dai due raggi incidenti S*g*, S*h*. Siccome poi dall'eguaglianza dei due triangoli AC*b*, BC*b* si ha A*b*=B*b*; così le onde luminose dei due raggi S*h*, S*g* perverranno in *b* facendo egual cammino e come se partissero direttamente dai punti A, B. Questa conseguenza geometrica si applica a tutti i raggi riflessi dagli specchi che interferiscono sulla linea CD*b*, dove comparisce per ciò una linea brillante, che ha ogni suo punto egualmente distante dalle due imagini A, B.

Al di fuori della linea C*b* vi sarà coincidenza di moto nello stesso verso se i raggi giungono sotto un piccolo angolo ad intersecarsi dopo aver percorso dei cammini o fatto uno, due, tre, quattro ecc. doppi d'ondulazioni l'uno più dell'altro. Per questa coincidenza vi sarà accrescimento di luce, da cui provengono le linee brillanti disposte euritmicamente alla linea centrale C*b*. Ma se l'onda d'un raggio luminoso ha fatto un certo numero di doppi alternativi, mentre quella d'un altro ne ha compiuto un numero impari, il movimento progressivo dell'una s'incontra con quello retrogrado dell'altra e vi ha quindi collisione e per conseguenza estinzione di luce, o l'oscurità e la colorazione. Ed è questa la causa delle linee oscure, quando la luce è omogenea, e delle frange colorate quando essa è bianca. Potendosi calco-

lare la direzione e la lunghezza del cammino fatto dai raggi luminosi, si hanno da questi calcoli i risultati seguenti.

1° La frangia luminosa, che comparisce nel mezzo delle imagini prodotte dai due specchi, nasce dai raggi i quali, dal punto luminoso a quello d'intersezione, hanno fatto l'egual cammino, ossia hanno percorso degli spazi la cui differenza è zero.

2° Le frange, a destra ed a sinistra di quella di mezzo, sono formate da raggi la cui differenza di cammino è proporzionale ad un numero pari della metà lunghezza d'un'onda luminosa, ossia proporzionale $a$ $2.\frac{d}{2}$, $4\frac{d}{2}$, $6\frac{d}{2}$, $8\frac{d}{2}$ ecc., cioè $d$, $2d$, $3d$, $4d$ ecc.; per cui in generale le frange luminose sono prodotte da raggi le cui differenze di cammino sono $o$, $d$, $2d$, $3d$, $4d$ ecc.

3° Gli spazi oscuri interposti alle frange di tinta omogenea nascono da raggi, la cui differenza di cammino è rappresentata da $1\frac{d}{2}$, $3\frac{d}{2}$, $5\frac{d}{2}$, $7\frac{d}{2}$ ecc.

4° Pei raggi di diverso colore l'assoluto valore di $d$ differisce l'uno dall'altro, essendo pei rossi il più grande e pei violacei il più piccolo (§. 820). Per ciascuna specie di luce dunque si ha che quando essa è bianca nascono, nei luoghi dove cadevano gli spazi oscuri per la luce omogenea, le frange di colori differenti secondo la composizione dei moti.

Da tutto quanto si è esposto si deduce che *l'interferenza è una composizione di moti ondulatorii in un solo,* il che avviene quando le onde s'intersecano sotto angoli assai piccoli.

Questa curiosa proprietà delle ondulazioni di due raggi luminosi è stata da qualche fisico rassomigliata al battimento di due tuoni nella musica quasi all'unisono l'uno coll'altro (§. 718): il battimento produce in questo caso un suono d'intensità eguale alla somma di quelle dei due tuoni presi separatamente.

826. Il principio delle interferenze è una conseguenza della sperienza di Grimaldi (§. 824), e da quella della riflessione coi due specchi istituita da Fresnel ha ricevuto una maggior conferma ed è stato definitivamente stabilito. Formano ambedue il secondo fatto capitale dei due annunziati (§. 736), il quale unitamente all'altro precedentemente fatto conoscere (§. 805), hanno indotto i fisici a dar la preferenza al sistema delle ondulazioni.

Le sperienze di Arago vengono in conferma del principio delle in-

terferenze. Egli ha trovato che le frange colorate o le linee oscure sono rimosse facendo passare alcuni raggi attraverso lamine trasparenti della medesima materia a superficie parallele e di grossezze differenti, per essere in questo passaggio più o meno ritardati nel loro moto, il che cambia il luogo dell'interferenza, e quindi le frange vengono rimosse dal loro posto.

Da un tal principio si apprendono i fenomeni delle frange prodotte nella diffrazione della luce, che cade sopra un sottile filo od un capello, oppure sopra un dischetto opaco (§. 822), o che entra per piccole aperture nella camera nera. (§. 823). Inoltre si comprendono le altre sperienze di questa specie (§. 824), che ricevono una facile spiegazione dal principio delle interferenze.

Tutti questi fenomeni non avrebbero luogo impiegando corpi luminosi di grandi dimensioni invece d'un punto irradiante. Imperocchè ciascuna particella luminosa diventerebbe centro di ondulazioni, le quali s'intersecherebbero irregolarmente e non produrrebbero le frange oscure e le brillanti, per essere ciascun centro di onde diversamente collocato. Succederebbe invece una confusione, che farebbe interamente scomparire il fenomeno e genererebbe nello spazio una uniformità di luce più o meno brillante. È appunto per questa ragione che le frange si manifestano tanto più lontane dal corpo opaco, quanto più la luce è omogenea, perchè in questo caso i movimenti dei diversi raggi si conservano per più lungo tempo analoghi.

La luce generalmente si propaga per linea retta (§. 739), ma può accadere, per la concordanza delle ondulazioni che si diffondono nell'ombra, che essa si mostri nello spazio, dove le è impedito l'adito di direttamente penetrare. Il principio delle interferenze dunque viene a completare le nostre cognizioni intorno al modo di propagarsi della luce nelle diverse circostanze.

827. Fenomeni somiglianti a quelli di Grimaldi e di Fraunhofer (§. 824), si ottengono facendo passare la luce per un gran numero di piccole aperture egualmente distanti. Questi angusti spazi si hanno facilmente distendendo dei sottilissimi fili metallici a piccolissima distanza fra loro, oppure tirando delle finissime linee parallele sopra una lastra di vetro colla punta del diamante. Fraunhofer giunse a tirare in questo modo sopra una lastra delle linee che distavano fra loro da millimetri 0,03 a millimetri 0,04, e che si chiamano *reticole iridescenti*. Guardando attraverso di esse alla luce solare anche diffusa comparisce un gran numero d'imagini colorate, come se fossero prodotte dal miglior prisma. Esse riescono più belle ponendo la reti-

cola avanti all'oggettivo di un cannocchiale e facendo cadere sopra la medesima un fascio luminoso irradiante da un solo punto.

828. I colori delle *lamine sottili* sono pure effetti d'interferenza. Tutte le lamine assai sottili d'un corpo trasparente, come il vetro soffiato, alcuue gocce d'olio distese in sottil strato sull'acqua, le bolle di sapone, come pure esili strati d'aria posti tra due pezzi di corpi diafani premuti l'uno contro l'altro offrono dei colori assai vivi. Se si applica un corpo sottile sopra una lastra di vetro in modo che non la tocchi in ogni parte, si osserva nella luce riflessa uno spettro colorato particolare, il quale cambia secondo la posizione, da cui viene riguardato e secondo la pressione con cui i due corpi si tengono congiunti. Se il corpo sottile è anch'esso trasparente, si osserva nella luce trasmessa un fenomeno consimile, ma con colori, i quali sono complimentari dei primi veduti per riflessione.

Newton rivolse a questi fenomeni una particolare attenzioue e li produceva regolarmente servendosi dell'apparecchio composto di un vetro piano a facce parallele o d'una lente piano-convessa A, il cui raggio di curvatura era di met. 4,27 (piedi 14), e d'una lente biconvessa B, di cui ogni superficie aveva per raggio met. 15,24 (piedi 50). La superficie piana della lente A era posta su quella convessa della B (fig. 106) e rimanevano così a contatto pel loro punto centrale. I vetri lenticolari erano rinchiusi fra due bande circolari d'ottone, e si potevano premere più o meno l'uno contro l'altro mediante viti. Questa combinazione offre parecchie grossezze al fluido che s'insinua nello spazio interposto ai due vetri, conservandosi ciascuna grossezza circolarmente la medesima ad eguale distanza dal punto di contatto. Ricevendo sul sistema la luce diffusa del cielo, si osservano tanto per riflessione che per trasmissione degli anelli colorati corrispondenti alle diverse grossezze della lamina fluida interposta fra i due vetri lenticolari, per cui il sistema per ottenere questi fenomeni è conosciuto nelle scuole sotto il nome di *apparecchio per gli anelli colorati.*

Se si collochi l'occhio dalla parte della lente superiore A in maniera di osservare il fenomeno per riflessione, si giunge a vedere sette anelli o piuttosto sette spettri circolari, i cui colori sono assai distinti nei primi e si indeboliscono sempre più a misura che s'ingrandiscono, sinchè spariscono. Osservando dalla parte del vetro B per luce trasmessa comparisce un altro sistema d'anelli o spettri circolari, di cui cinque si vedono distintamente, riescono però meno chiari di quelli per luce riflessa. Mettendo a confronto i colori riflessi con quelli trasmessi, si trova che questi sono sempre complimentari dei

primi, vale a dire che mescolati gli uni cogli altri sono capaci di dare la bianca luce solare. I colori seguono costantemente il medesimo ordine, e si hanno tanto che l'intervallo sia vuoto quanto pieno d'aria alla densità ordinaria o rarefatta, oppure d'acqua, d'alcoole o di altro fluido. La differenza consiste soltanto nella vivacità dei colori, riescendo più vivaci coll'aria rarefatta. In generale la grandezza degli anelli aumenta quando sono riguardati obliquamente, o si comprimono di più i vetri, o s'interpone ai medesimi un fluido meno rifrattivo. Il punto di contatto dei due vetri, dove non havvi interposto alcun fluido, riesce nero per luce riflessa e bianco per quella trasmessa, ed è intorno a questo punto come centro che si dispongono gli anelli colorati.

I fenomeni descritti si osservano colla luce bianca, ma quando sull'apparecchio si riceve della luce omogenea o d'un sol colore, gli anelli compariscono della medesima tinta della luce incidente e sono divisi da un intervallo oscuro, producendo la luce rossa gli anelli più larghi, la violacea i più ristretti, e gli altri colori in proporzione. Misurando i loro diametri si è trovato che gli anelli prodotti dalla luce violacea sono quasi i due terzi di quelli corrispondenti che si hanno colla luce rossa.

La grossezza della sottile lamina fluida intermedia, che produce gli anelli, si può far variare mettendo l'uno contro l'altro i due vetri lenticolari con maggiore o minor forza. Collocando leggermente le due lenti l'una sull'altra, allora rimane una sottilissima lamina d'aria anche nel punto centrale, il quale comparisce bianco per riflessione. A misura che si comprimono i due vetri, la lamina d'aria diventa più sottile, sinchè sotto un certo grado di compressione ha luogo il contatto perfetto fra vetro e vetro ed apparisce nero il punto centrale. In questa specie di sperimenti è facile di determinare la grossezza del sottile strato d'aria o di altro fluido posto nell'intervallo lasciato dai due vetri. Newton trovò che i quadrati dei diametri delle parti più brillanti erano fra loro nella progressione aritmetica dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, 9 ecc., e quelli delle parti le più oscure nella progressione dei numeri pari 2, 4, 6, 8, 10 ecc., e quando una delle superficie a contatto è piana e l'altra sferica i loro intervalli corrispondenti a questi anelli devono essere nel medesimo rapporto.

Ora si concepisce come si formano per riflessione gli anelli brillanti nell'apparecchio su descritto quando è ripercosso da luce omogenea. La luce è riflessa dalla prima e dalla seconda superficie. I raggi riflessi dalla seconda superficie hanno prolungato il loro cam-

mino di due volte l'intervallo della grossezza dello strato, e quindi i loro movimenti ondulatorii non sono sempre d'accordo con quelli riflessi dalla prima superficie. Dal loro accordo o dalla loro discrepanza risulta per ciascuna specie di luce la permanenza o l'estinzione degli effetti luminosi, che non si verificano nei medesimi punti per ciascun colore, per cui si sviluppano colla luce bianca gli anelli colorati su descritti. Si è riconosciuto che la grossezza degli strati fluidi è sempre corrispondente alla lunghezza delle ondulazioni, e si determinano quindi col calcolo i luoghi ove devesi manifestare un dato colore, ed ove cadere un anello oscuro o brillante. Lo stesso è per luce trasmessa, dove i raggi, a misura che si discostano dal centro, trovano meno ostacolo alla loro propagazione e quindi accorciano il loro cammino, da cui nascono effetti somiglianti. Questi fenomeni non trovano una spiegazione logica nel sistema dell'emissione, quantunque Newton abbia imaginato la notissima dottrina degli *accessi di facile riflessione e di facile trasmissione* per ciascun colore, il che non ispiega il fenomeno, ma lo esprime con altre parole.

Gli anelli, che si mostrano nelle bolle di sapone e in altri corpi sottili, si spiegano cogli stessi principii: la luce brillante è sempre prodotta da un accordo nelle ondulazioni dei raggi riflessi o trasmessi, e gli spazi oscuri o colorati da una collisione totale o parziale delle ondulazioni medesime.

829. Le lamine dotate d'una certa grossezza producono degli effetti somiglianti, perchè esse ritardano più o meno le ondulazioni dei raggi luminosi da cui sono attraversate. Questo fenomeno si produce con ispecchi concavi di vetro coperti di stagnuola. Introducendo per un foro di 3 in 6 millimetri di diametro un fascio di luce solare nella camera nera, si riceve sopra uno specchio di vetro della grossezza di circa 6 millimetri, il cui asse è nella direzione del fascio luminoso ed il raggio di curvatura delle due superficie è eguale alla distanza dello specchio medesimo dal foro. Applicando ora al foro della finestra un foglio di carta bianca con un'apertura corrispondente per lasciare passaggio ai raggi luminosi, si mostrano sul piano della carta intorno all'apertura gli anelli colorati. Disponendo l'apparecchio in modo che la carta sia più o meno distante dalla concavità dello specchio, gli anelli si allargano e spariscono. I colori degli anelli si succedono come in quelli della luce trasmessa nel sistema delle lamine sottili. Allorquando la luce è omogenea gli anelli hanno la medesima tinta, avendosi quelli di maggior diametro colla luce rossa e di minor diametro colla violacea. Se si appanna la superficie dello specchio

coll'alito, o vi si sparge sopra della finissima polvere come quella della farina di frumento, o di licopodio, oppure la si copre con un finissimo velo, o con mussolina, o con uno strato sottilissimo di crema di latte, si hanno pure degli anelli assai brillanti. Questi fenomeni ed altri consimili dipendono tutti dal principio delle interferenze.

830. Indipendentemente dalle modificazioni che le ondulazioni possono subire per le loro interferenze da azioni puramente meccaniche, i raggi luminosi, nell'attraversare diversi mezzi, provano una diminuzione di splendore, la quale è attribuita ad una proprietà dei mezzi medesimi appellata *potere assorbente*. Abbiamo già veduto che l'aria, l'acqua ed i corpi dotati della maggior diafanità sono forniti di un tal potere, ed abbiamo altresì insegnato a valutare la perdita che si va facendo nel transitare la luce pei mezzi uniformi (§. 769). D'altronde si è già notato che la quantità di raggi riflessi dai corpi dipende anche dalla loro natura (§. 755); il che vuol dire che secondo la medesima hanno la facoltà di assorbirli più o meno e di rifletterne quindi in minore o maggiore quantità. Ora aggiungiamo su tale argomento alcune altre notizie.

Alla sommità dei monti i più elevati si scopre all'occhio un maggior numero di stelle che nei luoghi bassi al piano, perchè la luce colassù giunge all'osservatore attraversando una massa d'aria meno grande. Ad una certa profondità sott'acqua gli oggetti presenti riescono quasi invisibili. I colori delle nubi del mattino e della sera mostrano l'assorbimento di alcuni raggi elementari per parte di fluidi aeriformi, e il color rosso del sole veduto nelle ore meridiane ad una certa profondità del mare sotto la campana de' palombari lo mostra per parte dell'acqua. Un magnifico fenomeno naturale d'assorbimento di alcuni elementi della luce è presentato dalla Grotta di Capri presso Napoli, illuminata da un bellissimo colore azzurro. I raggi solari non vi penetrano direttamente, e non è accessibile all'uomo che ponendosi coricato in una barchetta. Giunti in quel recinto sembra di trovarsi in un luogo incantato (1). In ogni caso vi ha una classe di raggi che sono più facilmente assorbiti di altri nell'attraversare il mezzo. La natura presenta dei corpi forniti di poter assorbente assai diverso. Incominciando dal corpo di maggior

(1) Su questo sorprendente fenomeno della natura ha scritto il prof. Melloni, come si trova negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 137, a cui ha fatto alcune osservazioni il prof. Belli, delle quali si parla nei medesimi *Annali*, t. XXVIII, pag. 161.

forza, le qui notate materie assorbono la luce nell'ordine seguente: Carbone di legna — Carbone d'ogni specie — Metalli in genere — Argento — Oro — Pleonasto nero — Cristallo di monte — Selenite — Vetro — Mica — Acqua e liquidi trasparenti — Aria e gas.

Si osservi che il carbon di legna, diviso in parti minutissime in alcuni gas e in parecchie fiamme ed anche in uno stato particolare di unione delle sue molecole come nel diamante, è molto trasparente quantunque allo stato ordinario abbia molta facoltà assorbente. Si noti altresì che i metalli sono trasparenti combinati con altre materie in una soluzione; e l'oro e l'argento ridotti in sottilissime foglie riescono translucidi, il primo trasmettendo una bella luce azzurra ed il secondo una luce verde. I corpi trasparenti non assorbono i colori proporzionalmente, giacchè nella luce trasmessa appariscono delle tinte prodotte da parti ineguali dei differenti colori. A mostrare questa forza assorbente può servire il vetro azzurro, che si trova in commercio sotto forma di bacchette cilindriche di 7 in 8 millimetri di diametro, da cui si taglia un pezzo in forma di cono. Esaminando lo spettro prismatico con questo cono, si trova che, attraverso l'estremità più sottile od il vertice, si vedono tutti i colori come senza l'interposizione; ma, a misura che si riguarda attraverso parti sempre più grosse, alcuni colori dello spettro s'indeboliscono gradatamente ed alfine scompaiono, mentre altri perdono molto meno della loro vivacità. Allorquando la grossezza è di quasi millimetri 2, il mezzo del rosso è assorbito, l'aranciato è intieramente scomparso, e il giallo rimane quasi isolato. Il lato del verde verso il giallo è molto assorbito e il verde e l'azzurro hanno perduto lievemente del loro splendore. A traverso d'una grossezza maggiore, il rosso interno diminuisce rapidamente, come pure il giallo, il verde e l'azzurro; infine ad una certa grossezza tutti i colori intermedii sono assorbiti e non rimangono che i due raggi estremi del rosso e del violaceo. Siccome la luce rossa è d'un'intensità più grande della violacea, il vetro sembra rosso a quest'ultima grossezza, mentre sembra azzurro a grossezze più piccole (1).

I vetri rossi assorbono grandemente l'azzurro ed il violaceo. Una sottile lamina d' orpimento assorbe grandemente i raggi azzurri e violacei, ed assai poco quelli rossi, gialli e verdi. Il solfato di rame

(1) Quest'osservazione è di Brewster: Venturi ha fatte delle osservazioni molto interessanti su tale soggetto, che si possono vedere nel suo opuscolo. *Indagine fisica dei colori*. Modena 1801.

agisce invece contemporaneamente sulle estremità dello spettro ed assorbe con gran forza il rosso ed il violaceo. Si possono combinare queste materie colorate in diverse maniere e produrre degli effetti rimarchevoli. Io aveva fatto disporre in incassature delle piccole lastre di vetri di differenti colori, le quali sovraposte due a due ed anche tre a tre si avevano diverse tinte, come pure il nero e la luce bianca. Il calore fa variare la forza assorbente, diminuendola in alcune materie per una data tinta ed in altre aumentandola.

Le fiamme colorate, che col prisma danno degli spettri mancanti di qualche raggio particolare, presentano un soggetto analogo al precedente. Il gas idrogeno puro abbrucia con una fiamma azzurrognola, nella quale mancano parecchi raggi particolari; quella dell'olio contiene dei raggi di cui è mancante la luce solare. L'alcoole allungato con acqua, poscia riscaldato ed infiammato somministra soltanto il giallo. Quasi tutti i sali danno alla fiamma un particolar colore, come si può provare introducendoli polverizzati nel lucignolo d'una lampada ad alcoole. Herschel porta i risultati seguenti ottenuti da diversi autori,

| | |
|---|---|
| Sale di soda . . . | Giallo omogeneo |
| — potassa . . | Violetto pallido |
| — calce . . . | Rosso di mattoni |
| — stronziana. . | Cremisi brillante |
| — litina . . . | Rosso |
| — barite . . . | Verde pallido |
| — rame . . . | Verde azzurrognolo |

I cloridrati (muriati) fra i sali riescono meglio in causa della loro volatibilità.

831. I fenomeni dell'assorbimento della luce dipendono dalla natura dei corpi, e ciò era ammesso non solo dai seguaci del sistema dell'emissione, ma lo è eziandio dalla maggior parte dei fisici e dei geometri che hanno adottato il sistema delle ondulazioni. Non è nota la specie d'azione che i corpi esercitano sulla luce e come per essa l'assorbono in maggior o minor quantità, variando quella che viene riflessa, rifratta o dispersa in colori e producendo la luce diffusa. Nel sistema delle ondulazioni si risguarda una tale azione come atta a distruggere parte della forza viva del movimento ondulatorio, in cui consiste la luce. È necessario quindi anche in questo ultimo sistema che l'azione sia ineguale per le luci di diverso colore, e che i raggi di

certi colori siano assorbiti in maggiore e quelli di alcuni altri in minor copia, per cui all'uscire dal mezzo trasparente non trovandosi più le proporzioni degli elementi del bianco, la luce trasmessa comparisce del colore complimentario a quello, che sarebbe formato dai raggi che sono stati assorbiti.

Nel sistema delle ondulazioni dunque si ammette che il mezzo, risultante dall'unione dell'etere e delle molecole ponderabili in esso disseminate, divenga, in causa delle loro reciproche azioni, meno atto a concepire dei movimenti ondulatorii per quella specie di luce che è assorbita, di quanto risulta per l'altra che è più abbondantemente trasmessa. Seguendo le analogie della propagazione del suono e della luce, Eulero paragonò la luce regolarmente riflessa all'eco (§. 701) e la luce diffusa alla risuonanza (§. 721). La luce diffusa quindi nascerebbe dalla comunicazione del moto che l'etere nello stato d'illuminazione fa all'etere dei corpi circostanti, nel quale si genererebbero delle nuove ondulazioni, che si propagherebbero per ogni verso nell'etere disseminato nello spazio ed ecciterebbero il chiarore o il colore permanente del corpo.

832. Le materie trasparenti fanno deviare in generale i raggi luminosi dal loro cammino rettilineo, e questa deviazione è più o meno grande pei diversi raggi componenti la luce bianca, da cui sono attraversate. In tutte però la rifrazione viene fatta dallo stesso lato e segue le leggi dichiarate. Vi ha però un gran numero di materie che, nel trasmettere un fascio luminoso, lo dividono in due parti, le quali, segnano dei cammini affatto differenti. In questo caso il fenomeno prende il nome di *doppia rifrazione* o *bifrazione*. Una delle porzioni del fascio luminoso segue le leggi della rifrazione ordinaria e dicesi per ciò *raggio ordinario*, l'altra porzione segue delle leggi particolari ed un cammino più complicato, e chiamasi *raggio straordinario*. In questo propriamente consiste il fenomeno della doppia rifrazione, osservata la prima volta da Bartolini nel cristallo islandico (1). Noi faremo conoscere sul fenomeno quanto di più importante riguarda i nostri *Elementi*.

Il *cristallo* e lo *spato islandico*, detto anche *spato calcare* o *carbonato di calce*, e dai naturalisti *calce carbonata*, è molto proprio a studiare il fenomeno della bifrazione. Esso si compone di 56 parti di calce e 44 d'acido carbonico, si trae generalmente dall'Islanda da

(1) *Erasmi Bartolini, experim. cristalli islandici disdiaclastici, quibus mira refractio detegitur*. Hafniae 1669.

cui ha avuto il nome, e si presenta in natura sotto diverse forme e talvolta in grosse masse. In ogni caso però si fende o si taglia in maniera da dargli la forma rappresentata nella fig. 107, che si chiama un rombo di spato islandico, il quale è un solido terminato da sei facce romboidali, e il cui asse cristallografico è la retta *ed* che congiunge i due angoli opposti *adc*, *feg* degli spigoli ottusi del rombo. Questo cristallo è molto trasparente e d'ordinario senza colore. Le sue facce naturali, quando si rompe, sono comunemente pulite, e se nol sono, si può fenderlo di nuovo e sostituire alla superficie imperfetta una migliore, oppure tagliare e pulire la faccia imperfetta.

Si prenda un cristallo islandico simile alla figura, a faccie unite e pulite, e di abbastanza grandezza che uno dei suoi spigoli *ad* abbia almeno la lunghezza di 2 in 3 centimetri; e si osservi attraverso di esso un punto od una linea segnata sopra un foglio di carta. La linea od il punto veduti in tal modo compariscono duplicati, e se non lo fossero si otterrà il fenomeno rivolgendo un poco il cristallo intorno a se stesso. Si faccia ora girare gradatamente il cristallo e si giungerà ad una posizione, in cui le due imagini si confonderanno e ne formeranno una sola. Continuando la rotazione del cristallo attorno a se medesimo, le due imagini compariranno di nuovo ed in una posizione ad angolo retto colla precedente, esse si troveranno fra loro alla maggiore distanza. S'istituisce l'esperimento anche osservando attraverso il cristallo un corpo di sottili dimensioni, come uno spilletto, e si hanno gli stessi fenomeni.

Affine di meglio determinare l'andamento della luce, se ne faccia cadere un fascio SR sulla superficie del rombo (fig. 108): la luce passando dall'aria nel cristallo si rifrange e si divide in due parti, l'una delle quali si muove nella direzione RE e l'altra nella RF parallele l'una all'altra ed al raggio incidente SR (§. 774). In questa bipartizione del fascio, si misuri l'angolo di rifrazione del raggio RE, sotto diverse incidenze: si trova che, quando il fascio cade perpendicolarmente sulla superficie del cristallo o sotto l'incidenza zero, esso non è rifratto, ossia attraversa il cristallo senza deviare dal suo cammino rettilineo, e sotto tutte le altre incidenze conserva sempre il medesimo rapporto di 1,654 fra i seni d'incidenza e di rifrazione ed è in ogni caso rifratto nello stesso piano del raggio incidente. Il raggio RE dunque segue le leggi della rifrazione ordinaria (§. 770). Esaminando egualmente il cammino che prende il raggio RF si riscontra che, sotto l'incidenza zero ossia perpendicolare alla superficie, esso non procede come l'altro in linea retta, ma si rifrange sotto l'angolo

di 6°, 12′, e nelle altre incidenze e corrispondenti rifrazioni i seni non conservano un rapporto costante come si ha nel primo raggio RE, e ciò che è singolare il raggio RF piega da un lato ed è diretto interamente fuori del piano d'incidenza. Il raggio RF dunque non segue la legge della rifrazione ordinaria: ed è per ciò che esso si chiama il *raggio straordinario,* mentre RE è il *raggio ordinario.*

833. Lasciando cadere il fascio luminoso sul cristallo di spato islandico sotto differenti direzioni, si osserva che, quando prende quella dell'asse cristallografico *ed* (fig. 107), esso non subisce la doppia rifrazione e devia dal suo cammino rettilineo conservandosi ancora in un solo fascio senza essere diviso in due parti. La linea *cd* prende il nome anche di *asse ottico del cristallo.* Se il cristallo venga tagliato e lavorato sotto qualunque altra forma, l'asse ottico conserva sempre una direzione parallela alla linea *ed,* talchè l'asse ottico non è una *linea fissa* come l'asse di figura, ma una *direzione fissa.* Si danno dei cristalli, i quali sono dotati di due direzioni somiglianti, che s'intersecano, e secondo cui il fascio non è bipartito, il che significa che i cristalli in questo caso sono dotati di due assi ottici, mentre nell'altro ne hanno un solo. Vi sono dunque nell'ottica i *cristalli ad un asse,* ed i *cristalli a due assi.* Essendo l'asse ottico una direzione fissa s'intende come i corpi possono essere forniti di piani, pei quali non succede la doppia rifrazione.

Esperimentando con differenti cristalli, si è riscontrato che in alcuni il raggio straordinario è rifratto verso l'asse *ed,* mentre in altri si allontana dall'asse medesimo (fig. 107). Nel primo caso si ha l'*asse positivo di doppia rifrazione,* e nel secondo l'*asse negativo di doppia rifrazione*; ossia i *cristalli positivi e negativi.*

Brewster, esaminando il fenomeno della doppia rifrazione in un gran numero di corpi cristallizzati, ha trovato che i cristalli, la cui forma primitiva o la più semplice era fornita d'un solo asse od una sola linea d'euritmia, avevano altresì un solo asse ottico di doppia rifrazione, e che questo coincideva con quello di figura. Egli dà l'elenco di questa specie di cristalli, fra i quali notiamo i seguenti; facendo precedere il segno + o quello —, secondo che essi sono positivi o negativi.

| | |
|---|---|
| — Carbonato di calce o spato islandico | — Smeraldo |
| + Quarzo o cristallo di monte o di rocca | — Pietra d'alume |
| — Carbonato di calce e magnesia | + Tunstato di zinco |
| — Carbonato di calce e ferro | — Fosfato di calce |

| | |
|---|---|
| + Ossido di stagno | + Ghiaccio (certi cristalli) |
| — Tormalina | — Cinabro |
| — Zaffiro | + Titanite. |

834. Nel maggior numero dei cristalli a due assi ottici, questi assi sono inclinati differentemente. Nel quadro seguente dato da Brewster si notano i cristalli più importanti di questa specie, coll'angolo sotto cui sono inclinati i loro assi ottici e le loro forme primitive.

| *Cristalli* | *Inclinazione degli assi* | *Forme primitive* |
|---|---|---|
| Glauberite . . . | 2° in 3° | Prisma obliquo, base un rombo |
| Nitrato di potassa | 5°. 20′ | Ottaedro, base un rettangolo |
| Aragonite . . . | 18. 18 | Ottaedro, base un rettangolo |
| Solfato di barite . | 37. 42 | Prisma retto, base un rettangolo |
| Mica . . . . . | 45. — | Prisma retto, base un rettangolo |
| Solfato di calce . | 60. — | Prisma retto, base un parallelogrammo |
| Topazio . . . . | 65. — | Ottaedro, base un rettangolo |
| Carbonato di potassa | 80. 30 | Sistema prismatico di Mohs |
| Solfato di ferro . | 90. — | Prisma obliquo, base un rombo. |

Nei cristalli ad un sol asse di doppia rifrazione, l'asse ha la medesima posizione qualunque sia il colore del fascio luminoso; ma nei cristalli a due assi questi assi cambiano di posizione, secondo il colore della luce, ossia la loro inclinazione varia nei diversi raggi colorati. Questa particolarità è stata riconosciuta da Herschel nel sale detto *della Roccella* o tartrato di potassa e di soda, avendo trovato che l'inclinazione dei due assi per la luce violacea era di 56° e per la luce rossa di 76°. In altri cristalli, come il *nitro* o nitrato di potassa, l'inclinazione dei due assi pel raggio violacco è maggiore che pel rosso. Brewster, esaminando la *glauberite*, ha verificato che per la luce rossa essa aveva due assi inclinati di circa 5° ed un solo asse per la luce violacea.

Le leggi della rifrazione pel raggio straordinario nei cristalli ad uno ed a due assi sono molto complicate, e coll'esperienza aiutata dalla geometria si è cercato di presentarle con alcune formole, le quali si verificano per un certo numero di cristalli.

835. Il raggio straordinario, quantunque presenti nel suo cammino una grande complicazione, prende però una direzione rimarchevole in due sezioni del cristallo. La prima è la *sezione principale*,

la quale nei cristalli ad un asse risulta da un piano condotto per l'asse perpendicolarmente ad una qualunque loro faccia naturale od artificiale; talchè ogni faccia del cristallo è fornita della sua sezione principale. Quando il fascio incidente è diretto per questa sezione, si è trovato che il raggio straordinario si mantiene nel piano d'incidenza al pari di quello ordinario. Infatti rivolgendo il cristallo si osserva che, nel circolo descritto all'intorno dell'imagine ordinaria d'un oggetto veduto attraverso di esso, quella straordinaria passa due volte pel piano d'incidenza, succedendo il fenomeno quando questo piano coincide colla sezione principale della faccia anteriore.

La seconda è la *sezione perpendicolare all'asse*, che si ha imaginando un piano che divida il cristallo nella direzione perpendicolare all'asse. Questa sezione presenta lo stesso fenomeno di quella principale, e il raggio straordinario che passa per la sezione perpendicolare si mantiene, come il raggio ordinario, nel piano d'incidenza, che è il prolungamento della sezione medesima.

In questi due casi soltanto l'indice di rifrazione del raggio straordinario si conserva costante per tutte le incidenze, e per tal modo, quantunque l'indice sia differente da quello del raggio ordinario, il raggio straordinario ne segue le stesse leggi (§. 770). Questo rapporto si chiama l'*indice di rifrazione straordinaria.*

836. Molti corpi, che nel loro stato ordinario non sono forniti della proprietà bifrangente, la acquistano col mezzo dell'arte. Il vetro, p. e., nella rifrazione non bipartisce un fascio luminoso da cui è attraversato: ma si prenda un cilindro C formato di questa materia (fig. 109), si riscaldi fortemente al calor rosso, e poscia si faccia rotolare sopra una lastra metallica allo scopo di raffreddarne prontamente la superficie, mentre nell'interno della massa conserva per un certo tempo il calore; si trova ch'esso per l'inegual contrazione, che subisce la sua massa nell'essere raffreddata, acquista la proprietà permanente di rifrangere doppiamente la luce e diventa un cilindro ad un asse positivo *ab*, lungo il quale non succede la bipartizione della luce. Quest'asse differisce da quello d'un cristallo positivo naturalmente dotato della doppia rifrazione, come è il quarzo : nel cilindro di vetro esso è una linea fissa, mentre nel quarzo è soltanto una direzione fissa. Se il cilindro di vetro si riscalda nell'olio o al fuoco in maniera da non rendere molle il vetro, e che si faccia raffreddare sommergendolo in un liquido freddo, esso acquisterebbe pure la struttura di doppiamente rifrangere la luce, ma in un modo labile, e il suo asse *ab* sarebbe negativo come quello dello spato islandico. Se il cilindro non è regolare

a differenza del precedente, o la sezione, perpendicolare all'asse, abbia la figura d'un'elisse invece d'un cerchio, il corpo bifrangente ha due assi ottici. Parimenti se si opera su verghe quadrangolari, si hanno due assi di doppia rifrazione. Sfere di vetro trattate nella stessa maniera presentano assi di rifrazione lungo ciascun diametro, e per conseguenza un numero indefinito di assi.

Il cristallino dell'occhio di molti animali, abbia esso la forma lenticolare, sferica o sferoidica, possiede uno o più assi di doppia rifrazione.

837. Si può far acquistare la proprietà bifrangente a corpi, che originariamente non la posseggono, anche colla pressione e con altri processi mecanici. Ecco un'esperienza di Fresnel appartenente a questa specie. Quattro prismi rettangolari *a*, *b*, *c*, *d* fra loro eguali sono posti l'uno in seguito all'altro per la loro ipotenusa in maniera che con queste formino un sol piano (fig. 110). Dall'uno e dall'altro lato delle estremità dei prismi si applicano delle liste di cartone, e sopra di esse una lamina rigida d'acciaio, poscia si comprimono con morsetti nel verso della loro lunghezza. Tenuti in questo stato di compressione, si riempiano i vacui con altri tre prismi rettangolari *e*, *f*, *g* ed alle alle estremità coi due prismi *m*, *n* pure di vetro, in modo da compiere il parallelepipedo *pqsr*. I prismi aggiunti combaciano perfettamente per le loro facce con quelli sottoposti alla compressione, ed allo scopo che il contatto sia perfetto le facce medesime stanno aderenti per mezzo di mastice trasparente, evitando così le riflessioni parziali.

Il parallelepipedo trasparente così composto di prismi, alcuni dei quali si trovano in uno stato sforzato di compressione, è un mezzo dotato del potere bifrangente, quantunque i prismi stessi al loro stato naturale non siano forniti di tale proprietà. Uno spilletto o un punto nero fatto sopra una carta, posto ad 1 metro di distanza da una delle estremità *pq*, comparisce duplicato all'occhio collocato all'estremità opposta *rs*; le due imagini si discostano l'una dall'altra di un millimetro ed anche più.

Nel sistema delle ondulazioni la doppia rifrangibilità, che acquistano alcune materie poste sotto azioni fisiche o mecaniche per cui si altera in qualche parte la loro densità, si attribuisce all'elasticità ineguale dell'etere nelle parti più condensate in confronto di quello diffuso nelle altre parti il quale è meno denso. Vedremo in altro capitolo che l'elettricità e il magnetismo esercitano qualche azione sul fluido luminoso.

838. Un gran numero d'esperienze si possono istituire coi cristalli bifrangenti, i quali si riducono anche in prismi acromatici pel raggio ordinario, nello stesso modo di quelli dotati di rifrazione semplice (§. 817). I prismi bifrangenti si lavorano in maniera che l'asse ottico sia parallelo o perpendicolare allo spigolo del vertice del prisma, onde avere in ogni posizione la bipartizione del fascio luminoso, che attraversa il prisma. Scinà ha intrapreso una serie di osservazioni con un prisma bifrangente acromatico (1), da alcune delle quali egli deduce che la spiegazione d'un'esperienza di Monge data finora dai fisici è erronea. È noto che l'esperienza di Monge consiste nell'osservare attraverso un romboide di spato islandico un piccolo oggetto collocato a qualche distanza dal cristallo, e poscia a rivolgere il cristallo in maniera che le due imagini siano, per es., l'una a diritta e l'altra a sinistra dell'osservatore. In questa posizione, se si fa scorrere una carta avanti al romboide, si trova che, passando essa da sinistra a destra, l'imagine a destra è la prima a scomparire, mentre dovrebbe essere l'ultima, e così all'inverso se si fa scorrere la carta da destra a sinistra. Questo fenomeno si spiega supponendo che i raggi, ordinario e straordinario, s'incrocino nell'interno del cristallo, mentre, secondo Scinà, essa dipenderebbe e sarebbe una conseguenza delle sperienze succitate (2).

In certe posizioni l'una delle imagini comparisce più elevata dell'altra; e ciò avviene nello stesso modo che un oggetto sommerso nell'acqua comparisce in luogo più elevato di quello che realmente occupa nel vaso (§. 771).

839. Un'esperienza importante è quella che s'istituisce con *due romboidi di spato islandico* sovrapposti per una delle loro facce, perchè essa ci presenta un fenomeno che si collega con un'altra proprietà del fluido luminoso, di cui quanto prima ci occuperemo. Osservando un oggetto attraverso due romboidi sovrapposti, si riscontrano i fenomeni seguenti: se le loro sezioni principali (§. 835) sono parallele o perpendicolari, si scorgono due sole imagini dell'oggetto come succede con un solo romboide; ma in ogni altra posizione ne compariscono quattro di diverse intensità. Siamo quindi sino ad ora condotti a risguardare i raggi, ordinario e straordinario, come dotati di una proprietà, acquistata nell'attraversare il cristallo bifrangente, da cui sono distinti da quelli della luce comune, la quale si sa che, nell'at-

(1) Vedi gli *Annali di fisica, chimica,* ecc. più volte citati, t. XXVI, p. 8 e 245.
(2) Si vegga il detto tomo degli *Annali*. pag. 245.

traversare il cristallo, è divisa in due parti. Si può tenere il secondo romboide ad una certa distanza dal primo, e ricevere su quello il raggio ordinario e straordinario prodotto da questo per meglio riconoscere una tale proprietà.

Istituendo l'esperimento in tal modo, si trova: 1° che, quando le sezioni principali dei due romboidi sono fra loro parallele, il *raggio ordinario*, uscente dal primo cristallo, passa nel secondo e ne è rifratto per intero secondo le *leggi ordinarie*, e il *raggio straordinario* è rifratto pure per intero seguendo il cammino *straordinario*; 2° che, nel caso delle sezioni principali perpendicolari, il *raggio ordinario*, passando dal primo nel secondo cristallo, è da questo rifratto *straordinariamente*, mentre il *raggio straordinario* subisce nel secondo cristallo per intero la rifrazione *ordinaria*; 3° che se le sezioni principali siano inclinate sotto l'angolo di 45°, ognuno dei raggi, ordinario e straordinario, prodotti nel primo cristallo, si suddivide di nuovo nell'attraversare il secondo; 4° che, nelle altre inclinazioni delle sezioni principali dei due romboidi fra loro, ogni raggio uscente dal primo dà pure nascimento a due altri raggi, ma di diversa intensità.

840. Non solo nell'attraversare il cristallo bifrangente la luce acquista la proprietà, di cui si è fatto cenno nel precedente paragrafo, ma eziandio nella riflessione e nella rifrazione semplice. Essa è stata scoperta da Malus nel 1810, che la distinse col nome di *polarizzazione*, desunta da alcune idee sistematiche secondo l'ipotesi dell'emissione. Il fenomeno prodotto dallo spato islandico era però già stato osservato dall'olandese Ugenio, e Malus l'ha collegato con altri fenomeni, facendone scaturire un nuovo ramo d'ottica, *la polarizzazione della luce* (1). Di questa curiosa proprietà del fluido luminoso c'intratterremo entro quei limiti a questo *Corso Elementare* concessi, e per meglio riconoscerla facciamo precedere alcune considerazioni sullo stato, che si attribuisce alle molecole o alle masse luminose.

La luce, sotto date circostanze, nell'essere riflessa, rifratta, oppure divisa in due raggi dai cristalli bifrangenti, acquista la proprietà di sottrarsi alla riflessione, alla rifrazione ed all'interferenza. Per far comprendere come è stata risguardata una tale proprietà nata durante il tempo in cui dominava il sistema dell'emissione, rappresentiamo la sezione d'un atomo di luce con un cerchio, due diametri del quale s'intersecano ad angolo retto, come *abcd* (fig. 111). Ora si suppone

(1) Si vegga l'opuscolo di Malus: *Mémoire sur la théorie de la double réfraction*. Parigi 1810.

che negli atomi P, P′ della luce polarizzata i lati o i poli differenti hanno delle proprietà differenti da quelli della luce ordinaria O. L'atomo P invece non differisce dall'altro P′, eccetto che il primo ha nei punti $b'$, $d'$ le medesime proprietà del secondo in $a'$, $c'$. In generale i diametri delle masse di luce, alle estremità dei quali queste hanno delle proprietà simili, sono ad angolo retto, come $b'd'$, $a'c'$. È appunto per ciò che due masse di luce si dicono polarizzate, perchè hanno ai loro lati o poli delle proprietà differenti da quelle della luce ordinaria. Le sezioni fatte secondo le linee $a'c'$, $b'd'$ si chiamano *piani di polarizzazione* di ciascuna massa di luce, perchè essi hanno la medesima proprietà e sono le sole parti di tutta la massa che la posseggono.

Ciò che interessa di notare si è che i due fasci polarizzati P, P′, essendo riuniti, ne formano un solo che ha le stesse proprietà del fascio di luce comune O, e che essi non l'acquistano se non quando il fascio comune SR (fig. 108) è separato dallo spato islandico nei due RE, RF. Se ne deduce quindi che un fascio di luce ordinaria O (fig. 111) è composto di due fasci di luce polarizzata P, P′, i cui piani di polarizzazione o diametri, dotati di proprietà simili, s'intersecano ad angolo retto. Talchè, se si pone il fascio P sopra P′, si ottiene l'altro O di figura simile; ma se nella sovrapposizione i due fasci siano collocati in maniera che i due piani di polarizzazione $a'c'$, $b'd'$ si coincidono, si avrebbe un fascio doppiamente polarizzato e dotato delle stesse proprietà d'un fascio semplice. Da ciò si dedurrebbe teoricamente che un fascio di luce ordinaria potrebbe essere cambiato in uno o più fasci di luce polarizzata nelle tre maniere seguenti: 1° col decomporre il fascio di luce ordinaria O in due fasci P, P′; 2° col far girare i piani di polarizzazione $ab$, $cd$ sinchè essi coincidano o siano fra loro paralleli; 3° coll'assorbire e rivolgere per altra parte uno dei fasci, e lasciare l'altro che sarà per conseguenza polarizzato.

Queste deduzioni, come vedesi, sono fondate sopra principii ipotetici. Qualunque sia però il magistero della luce nel diportarsi in tali casi, le considerazioni precedenti ci serviranno di guida nell'esposizione dei principali fenomeni intorno alla polarizzazione.

841. La luce polarizzata ottenuta con un cristallo bifrangente appartiene alla prima maniera. Nella bifrazione il fascio luminoso SR (fig. 108) viene diviso dallo spato islandico nei due raggi RE, RF che sono dotati di polarità. Il piano di polarizzazione del raggio ordinario RE è nella sezione principale, e quello del raggio straordinario RF fa angolo retto colla sezione medesima; ossia se il primo piano

è verticale, il secondo è orizzontale come $b'd'$, $a'c'$, delle sezioni P, P' dei raggi ordinario e straordinario (fig. 111). Quando il mezzo bifrangente è positivo, come il quarzo o cristallo di rocca, allora il raggio luminoso vien pure diviso, ma il piano di polarizzazione del raggio ordinario riesce perpendicolare alla sezione principale del cristallo ossia è orizzontale, mentre quello del raggio straordinario riesce nella sezione principale ossia è verticale.

Per far meglio conoscere il fenomeno della polarizzazione col mezzo d'un cristallo bifrangente, riprendiamo l'esperienza dei due romboidi di spato islandico (§. 839), e sia $p$ un punto lucido dal quale un fascio $pa$ si presenta sotto una piccola incidenza al primo romboide AMB (fig. 112), disposto in maniera che la sezione principale che passa per l'asse ottico AB sia parallela alla sezione principale condotta per l'asse CD dell'altro cristallo CND. Il fascio $pa$, penetrando nel cristallo, si divide in due parti, nel raggio ordinario $ab$ e in quello straordinario $ac$. Ognuno di questi raggi, transitando pel secondo cristallo bifrangente CND, giunge all'occhio in $o$ senza suddividersi, prendendo rispettivamente i cammini $do$, $eo$; talchè, a malgrado che il fascio lucido del punto $p$ abbia attraversato due cristalli bifrangenti, si vedono due sole imagini $q$, $q'$.

Ora si rivolga il cristallo superiore CND attorno alla retta perpendicolare alle facce dei due romboidi, sulla quale le due sezioni principali dei cristalli si tagliano fra loro e formano un angolo diedro. Tosto che il romboide superiore CND si è scostato nella rotazione dalla posizione che aveva rispettivamente all'altro AMB, i due raggi $bd$, $ce$, nel passare pel secondo cristallo CND, si suddividono ciascuno in due parti comparendo, invece delle due imagini A (fig. 113), le quattro B, C. Al principio le due imagini nascenti sono molto deboli B, ma esse aumentano in intensità, e la loro luce va accrescendo a spese delle primitive; e quando l'angolo diedro delle sezioni principali è di 45°, le quattro imagini hanno egual chiarore, e sono disposte sotto la forma d'un parallelogrammo C. Le due imagini, formate dai raggi piegati secondo le leggi della rifrazione ordinaria, rimangono immobili durante la rotazione del cristallo medesimo; mentre quelle prodotte dai raggi rifratti straordinariamente si rivolgono intorno alle prime. Proseguendo la rotazione del cristallo, le imagini nuovamente comparse diventano ancor più chiare e superano le prime come in D; e quando si sono percorsi nel giro altri 45° e le sezioni principali dei due cristalli sono fra loro ad angolo retto, le due imagini scompaiono del tutto e non rimangono che le altre due E, che si mostra-

rono dopo. Si ha in tal modo lo stesso fenomeno come al principio, colla differenza però che l'imagine formata dalla rifrazione ordinaria del secondo romboide deriva dai raggi rifratti straordinariamente attraverso al primo, e all'inverso l'altra, prodotta dai raggi straordinarii nel secondo cristallo, proviene dai raggi ordinarii passati pel primo.

Facendo percorrere nel suo giro un altro quadrante al secondo cristallo succedono fenomeni analoghi. Le due imagini, che si erano estinte, incominciano a ricomparire con una debole luce come in F, la quale va sempre più crescendo in intensità a scapito delle altre due, sinchè si vedono di nuovo le quattro imagini d'egual chiarore G quando il cristallo ha percorso altri 45°, poscia le superano H, e tosto si è compiuta la semirivoluzione le imagini preesistenti spariscono, e le due ricomparse possono ben anche compenetrarsi in una sola, se i due cristalli hanno la medesima grossezza.

Nell'altra semirivoluzione del cristallo CND per ritornare alla primitiva posizione, si ripetono in ordine inverso i medesimi fenomeni osservati nella precedente. Ugenio notò eziandio che le quattro imagini hanno in chiarezza un'intensità di luce eguale a quella che produce da solo il raggio incidente, quando non è diviso in più imagini.

Analizziamo ora i fenomeni che si succedono attraverso i due cristalli durante la rotazione di quello superiore, mentre l'altro, per dove la luce dapprima transita, conserva la sua posizione fissa.

Le due imagini $q$, $q'$ del punto lucido $p$, quando le sezioni principali dei due romboidi sono parallele (fig. 112) nascono, l'una $q$ dal raggio ordinario del cristallo anteriore AMB rifratto ordinariamente dal posteriore CND, e l'altra $q'$ dal raggio straordinario del primo cristallo rifratto straordinariamente dal secondo. Il cristallo posteriore CND non è dunque capace in questa posizione di suddividere in due parti qualcheduno dei raggi, che provengono da quello anteriore AMB. Ma quando le sezioni principali sono inclinate fra loro sotto l'angolo di 45°, allora attraverso il secondo cristallo CND ha luogo la bipartizione di ciascun raggio proveniente dal primo AMB, ed invece delle due imagini A (fig. 113) compariscono le quattro C egualmente illuminate. Fenomeni somiglianti avvengono nelle successive posizioni, che prende il cristallo posteriore nella rotazione. Ne conseguita quindi che, nel transitare pel cristallo anteriore, la luce naturale ha subito qualche modificazione, cioè è stata polarizzata, giacchè col cristallo posteriore essa somministra ora due imagini eguali ed ora disuguali, e talvolta una sola. Nell'esame di questi fenomeni si scorge che, quando il piano di polarizzazione d'un raggio ordinario o straor-

dinario coincide colla sezione principale od è ad essa parallelo, il raggio è rifratto *ordinariamente*, e quando il piano di polarizzazione è perpendicolare alla sezione principale, il raggio è rifratto *straordinariamente*. In tutte le posizioni intermedie esso prova le due specie di rifrazione ed è doppiamente rifratto, essendo il raggio ordinario più brillante se il piano di polarizzazione si accosta di più ad essere parallelo che perpendicolare alla sezione principale, e quello straordinario riesce di una luce più intensa se il piano di polarizzazione si avvicina di più alla posizione perpendicolare che a quella parallela relativamente alla medesima sezione. Trovandosi a distanze eguali dalle due posizioni, le due imagini, ordinaria e straordinaria, riescono egualmente illuminate.

Nella precedente sperienza non siamo indotti a credere che il fenomeno della polarizzazione dipenda da una forza propria del cristallo; giacchè questo divide soltanto la luce naturale in due parti secondo una legge differente, nella stessa maniera che il prisma decompone la luce bianca nei colori dello spettro, per la proprietà di rifrangere questi raggi colorati secondo diversi gradi. La riunione dei due raggi polarizzati, i cui atomi hanno i loro lati o poli in direzione opposta, produce la luce ordinaria, egualmente come la riunione dei colori elementari genera la luce bianca.

842. I fenomeni precedenti scoperti da Ugenio erano rimasti isolati per molto tempo, quando nell'anno 1810, osservando attraverso un prisma di cristallo islandico la luce solare riflessa dai vetri delle finestre del palazzo del Lucemburgo a Parigi, Malus con molta sagacità fu condotto alla scoperta curiosa che un fascio luminoso, sotto l'inclinazione colla superficie di 35°. 25', o l'incidenza di 54°. 35', riflesso dalle lastre di vetro era ora bipartito ed ora rifratto riunito dallo spato islandico, secondo le posizioni che prendeva questo cristallo rispettivamente alla luce da cui era attraversato. Questo fatto importante fu verificato da Malus anche nella riflessione della luce operata da parecchi corpi sotto differenti angoli, diede origine a tutte le scoperte che vennero dappoi, e servì a stabilire la proprietà, di cui si è discorso, la polarizzazione della luce. I metalli non mostrarono a quel fisico la facoltà di polarizzare la luce, ma in seguito si trovò che pur essi producevano il fenomeno, e così si venne a conoscere che anche mediante la riflessione si conseguisce la polarizzazione, nella quale succede una modificazione negli atomi luminosi somigliante alla seconda maniera di quelle cui siamo stati condotti da con-

siderazioni puramente teoriche (§. 840), riferendosi la precedente della bifrazione alla prima.

L'inclinazione, sotto cui la luce viene in tal modo modificata per riflessione da un corpo, chiamasi *angolo di polarizzazione*. Pel vetro quest'angolo sarebbe di 35°. 25′ o di 54°. 35′ contando l'incidenza dalla normale. Quando il raggio luminoso cade sul vetro sotto un angolo minore o maggiore di 54°. 35′, esso non è interamente polarizzato, e porzione conserva ancora, dopo la riflessione, la proprietà della luce comune. In tal caso si ha la *polarizzazione parziale*, e il raggio si considera dai fisici come composto di luce perfettamente polarizzata e di luce comune. Malus trovò che la polarizzazione diminuisce a misura che l'angolo d'incidenza si discosta in più o in meno dall'angolo di polarizzazione massima. Biot ed Arago sostengono pure come Malus che la luce polarizzata parzialmente è composta di luce ordinaria e polarizzata, ed Arago sostiene altresì che, a distanze eguali dall'angolo di polarizzazione massima, il fascio riflesso contiene la medesima proporzione di luce polarizzata.

843. Un anno dopo la scoperta di Malus, parecchi fisici ad un tempo ottennero nella luce un'analoga modificazione mediante la semplice rifrazione. Sia SR un fascio luminoso (fig. 114) diretto sulla lastra di vetro orizzontale A con un angolo d'incidenza compreso fra 80 e 90 gradi: una porzione è riflessa alle due superficie anteriore e posteriore della lastra, e porzione è trasmessa, mostrandosi quest'ultima in parte polarizzata. Se il fascio luminoso incontra una seconda lastra B parallela alla prima, è pure in parte riflesso dalle due superficie della medesima, e quella trasmessa contiene in maggior quantità di luce polarizzata. Disponendo nell'egual maniera successivamente altre quattro lastre di vetro C, D, E, F, si trova che l'ultima porzione di luce trasmessa *tu* è interamente polarizzata.

Si osservi che il raggio *tu* non è polarizzato nel piano di riflessione o in quello di rifrazione, ma in un piano perpendicolare ai medesimi, vale a dire che il piano di polarizzazione invece d'essere verticale, come quello del raggio ordinario nel cristallo islandico o quello della luce polarizzata per riflessione, è orizzontale al pari del raggio straordinario dello spato calcare. Aumentando il numero delle lastre di vetro cambia l'angolo d'incidenza sotto cui deve cadere il fascio luminoso sulle medesime per essere polarizzato. Brewster ha trovato con un gran numero di sperimenti che la luce emanata da una candela accesa, alla distanza di metri 3 in 3,5, era polarizzata sotto i

seguenti angoli dal numero di lastre del cristallo crovno notate nel qui sotto prospetto.

| NUMERO delle lastre | ANGOLI d'incidenza | NUMERO delle lastre | ANGOLI d'incidenza |
|---|---|---|---|
| 8. | 79°. 11′ | 27. | 57°. 10′ |
| 12. | 74. — | 31. | 53. 28. |
| 16. | 69. 4. | 35. | 50. 5. |
| 21. | 63. 21. | 41. | 45. 35, |
| 24. | 68. 8. | 47. | 41. 41. |

Da questi risultati si apprende che la forza polarizzante la luce rifratta aumenta secondo l'angolo d'incidenza, e più questo è grande si richiede minor numero di lastre per ottenere il fenomeno. Sotto l'angolo d'incidenza zero, o quando il fascio luminoso cade perpendicolarmente sulla lastra, la polarizzazione è nulla. Brewster ha scoperto altresì che la forza polarizzante la luce sotto un angolo qualunque è maggiore quanto più è grande la potenza rifrattiva del corpo trasparente, per cui si richiede pel medesimo angolo d'incidenza un minor numero di lastre del corpo di grande forza rifrattiva in confronto di quello dotato di forza rifrattiva più piccola.

Allorquando si fa passare il fascio luminoso per un minor numero di lastre pel dato angolo d'incidenza che richiede la *compiuta o polarizzazione massima*, allora si ottiene una *polarizzazione parziale.* Così, se sotto l'angolo incidente di 69° sono necessarie 16 lastre di crovno per la compiuta polarizzazione, prendendone un minore si ha soltanto la luce parzialmente polarizzata. Con un minor numero di lastre bisogna aumentare l'angolo d'incidenza, altrimenti la luce riesce soltanto in parte polarizzata; così per 8 lastre soltanto di crovno l'angolo d'incidenza della compiuta polarizzazione deve essere portato a 79°.

844. La polarizzazione ottenuta per mezzo della semplice rifrazione sembra che partecipi della seconda e terza maniera di quelle dichiarate superiormente dietro riflessioni teoriche (§. 840). Colla doppia rifrazione si è separato il fascio di luce naturale in due raggi diver-

samonte polarizzati (§. 841); e colla riflessione si è prodotto un rivolgimento negli atomi luminosi in maniera che coincidano coi loro poli, e formino così della luce polarizzata in un sol piano (§. 842). Nella rifrazione semplice poi attraverso parecchie lastre di un corpo trasparente non solo gli atomi luminosi hanno subito una rotazione, ma nell'assorbimento di alcuni di essi si sono lasciati quelli disposti a mostrare il fenomeno della polarità. Rimane ora a far conoscere l'altro metodo per ottenere la luce polarizzata, cioè quello di assorbire o di disperdere gli atomi che neutralizzano la proprietà della polarizzazione in quegli coi quali sono riuniti e formano la luce naturale. Questo si conseguisce colla tormalina e con altri corpi.

Allorquando si trasmette della luce comune attraverso una sottile lamina di tormalina, gli atomi che neutralizzano la polarizzazione sono intieramente assorbiti in una posizione, e rimangono gli altri in una posizione diversa: in tal maniera il raggio composto dalla serie d'una specie di quegli atomi mostra sempre un solo piano di polarizzazione colla proprietà da questa dipendente. Parimenti un fascio luminoso, che attraversa una lastra di agata, alcuni atomi formano un raggio oscuro in una posizione e gli altri costituiscono un secondo raggio del pari polarizzato in diversa posizione; talche si può sempre avere un sol raggio polarizzato in un sol piano. In somigliante modo si produce il fenomeno con l'aragonite e con altri cristalli, come pure con sali artificialmente preparati. Egli è per questa ragione che sovente si fa uso di lamine di tormalina, di agata e simili per ottenere un raggio di luce polarizzata in un piano, cioè per assorbire o disperdere alcuni atomi della luce naturale del fascio che si vuole analizzare ed esaminare il colore e le proprietà del raggio composto degli altri atomi veduto separatamente.

845. Per osservare comodamente e mostrare nelle scuole i fenomeni descritti nei precedenti paragrafi serve l'*apparato per la polarizzazione.* Esso si compone d'un tubo d'ottone OL collocato sopra un piede P (fig. 115) con mastiettature, per le quali gli vien dato un movimento orizzontale e verticale. All'estremità L si applica il corpo polarizzatore della luce mediante un tamburo pure d'ottone, che si innesta nel tubo nella stessa maniera che si congiungono i tubi dei cannocchiali. Il tamburo si rivolge dentro il tubo, dove può compiere il giro d'un'intera periferia, e sostiene il corpo polarizzatore mediante due verghette, l'una delle quali è *ab* e l'altra è situata alla parte opposta. Le due verghette portano in un telaio il corpo polarizzatore, che consiste in una lastra di vetro *mn* annerita alla superficie

posteriore, se trattasi di riconoscere la polarizzazione per riflessione. Sulla periferia dell'estremità L del tubo vi sono segnati i gradi, che incominciano dallo zero e si estendono per 360 gradi al compimento della medesima. Allorchè si tratta di polarizzare la luce per riflessione, il telaio, che porta la lastra di vetro o di altra materia, è munito di un arco di cerchio graduato *pq*, sul quale si conoscono i gradi di cui la superficie del corpo riflettore è inclinata coll'asse del tubo OL. Vicino all'estremità L è collocato nell'interno del tubo un diaframma d'ottone annerito, nella cui parte centrale havvi un'apertura circolare per dove entra il fascio cilindrico di luce polarizzata.

Dall'estremità L si leva il tamburo, appartenente alla lastra di vetro *mn*, per applicarvene un altro eguale che porta il pezzo acromatico bifrangente *pq*, il quale si compone del prisma di spato islandico o di cristallo di monte *p* e d'un prisma di vetro *q*, che rende il primo acromatico (fig. 116), e ciò allo scopo di polarizzare la luce col mezzo della doppia rifrazione. Che se vogliasi ottenere il fenomeno colla rifrazione semplice, allora, invece dei pezzi precedenti, si fa entrare a sfregamento nell'apertura L l'altro tubo SR, dove si collocano opportunamente inclinate un certo numero di lastre di vetro (fig. 117). L'apparato è altresì fornito d'un altro tamburo simile ai precedenti, il quale porta in apposita incassatura una lastra di vetro *vv* a facce parallele, su cui si assicura la lamina di tormalina *tt*, a facce parallele all'asse (fig. 118), oppure qualche altro corpo per ottenere la luce polarizzata. La lastra di vetro poi, da applicarsi alle estremità dell'apparato di polarizzazione, si vede rappresentato nella fig. 119.

Fra i metodi descritti per polarizzare la luce, quello della doppia rifrazione è reputato il migliore, perchè con esso si può ottenere un raggio polarizzato maggiore di quello che si consegue cogli altri. Attraverso un cristallo islandico, della grossezza di 7 in 8 centimetri, si possono ottenere due raggi di luce polarizzata del diametro di 8 in 9 millimetri, e ciascuno di questi raggi contiene la metà della luce del fascio primitivo, eccetto la poca quantità perduta nella riflessione (§. 755) e nell'assorbimento (§. 830). Ogni raggio di luce polarizzata, ordinario o straordinario, e prodotto con cristalli positivi o negativi, ha sempre le medesime proprietà, purchè il piano di polarizzazione sia nella medesima direzione.

Il *prisma di Nicol* è pure un apparecchio polarizzatore formato d'un cristallo bifrangente, dal quale è disperso uno dei raggi, mentre l'altro resta libero ed è polarizzato. Esso si forma dividendo in due parti un lungo romboide di spato islandico, le quali poscia si riuniscono

colle loro superficie pulite mediante balsamo del Canadà o di trementina. Lo strato resinoso agisce, per rispetto al raggio ordinario prodotto dal cristallo, come un debole mezzo rifrangente, e per rispetto al raggio straordinario come un forte mezzo rifrangente della luce. Il primo raggio perciò prova, in causa dell'angolo obliquo sotto cui incontra lo strato resinoso, la riflessione totale, e viene intieramente deviato. Questo raggio non perviene quindi attraverso il prisma lungo la linea dove è collocato l'occhio, il quale riceve il solo raggio straordinario. Questo prisma, che è *polarizzatore* della luce, agisce come la lamina di tormalina (§. 844) tagliata parallelamente al suo asse, avendo però su questa il vantaggio di non dar verun colore alla luce e lasciare a questa la maggiore intensità.

Il prisma di Nicol può essere eziandio costrutto tagliando il cristallo in una certa direzione sotto forma d'alto e stretto prisma, in modo che il raggio luminoso straordinario sia rifratto verso la parete del tubo o dell'incassatura, dove è disposto il prisma stesso, e dalla quale è assorbito per la tinta nera di cui è coperta. Esso è congiunto con un altro prisma di vetro perfettamente eguale, ed ambidue formano nella loro congiunzione ad angoli contrapposti un parallelepipedo. Guardando attraverso il doppio prisma, l'occhio riceve il solo raggio ordinario prodotto dalla bifrazione dello spato islandico, il quale è acromatizzato dal prisma di vetro. Girando il tubo dove trovasi incassato il prisma di Nicol, nessuna differenza apparisce all'occhio nella luce trasmessa qualora questa, avanti la trasmissione, sia al suo stato naturale; ma se la luce consiste previamente in un raggio di già polarizzato, le rotazioni del tubo intorno a se stesso danno luogo a variazioni nello splendore del raggio medesimo, manifestandosi il raggio luminoso ad ogni intera rivoluzione due volte con tutta la sua energia e due volte abbuiandosi. Le linee di queste posizioni formano una croce rettangolare, che divide longitudinalmente il tubo e il parallelepipedo interno in quattro parti eguali; talchè, condotti per l'asse del tubo due piani che passino per la detta croce, il raggio polarizzato è trasmesso secondo uno di questi piani ed è intieramente abbuiato per l'altro normale al primo. Il passaggio dall'uno all'altro stato non si fa per salti, ma con graduazione, per modo che, appena passata la sezione buia, il campo della visione incomincia a rischiararsi, ed il chiarore va man mano aumentando durante la rivoluzione di un quadrante o di 90°, all'estremità del quale la luce acquista il massimo suo splendore. Seguitando la rotazione, l'illuminamento decresce di nuovo gradatamente, e sparisce dopo che il tubo ha descritto un

altro arco di 90°, per aumentare poscia, giungere al massimo, e decrescere quindi, riproducendosi i fenomeni medesimi nell'altra metà della circonferenza. La sezione della massima oscurità, imaginata pel raggio luminoso, costituisce il *piano di polarizzazione*. Ecco quindi come il prisma di Nicol serve tanto a polarizzare la luce, come a distinguere se essa è stata previamente polarizzata. Esso si applica all'apparato suddescritto tanto allo scopo di avere un raggio di luce polarizzata, quanto a quello di riconoscere se essa è dotata di tale proprietà.

All'estremità opposta O del tubo di polarizzazione (fig. 115) si dispongono gli ordigni per riconoscere coll'occhio rivolto verso di essi, se la luce è polarizzata.

846. I mezzi caratteristici principali per riconoscere se un raggio luminoso è polarizzato sono i seguenti: 1° il raggio non dà che una sola imagine attraversando un cristallo bifrangente disposto in maniera che, quando la luce sia polarizzata per riflessione, la sezione principale del cristallo medesimo riesca parallela o perpendicolare al piano di riflessione; mentre appariscono due imagini più o meno intense in tutte le altre posizioni (§. 841); 2° se il raggio polarizzato si riceve sopra una lastra di vetro sotto l'angolo di 35°. 25′ colla superficie, esso non subisce veruna riflessione quando il piano d'incidenza su questa lamina è perpendicolare a quello d'incidenza sulla lastra polarizzatrice. In ogni altra posizione e sotto diverse incidenze il raggio è più o men riflesso; 3° Il raggio polarizzato è incapace di attraversare perpendicolarmente una lamina di tormalina, il cui asse è parallelo al piano di riflessione della lastra di vetro polarizzatrice. A misura che l'asse della tormalina si discosta dal parallelismo e si avvicina ad essere perpendicolare al piano di riflessione della lastra di vetro polarizzatrice, il raggio luminoso è trasmesso dalla tormalina con un'intensità sempre crescente.

Per mostrare quindi il fenomeno della luce polarizzata si applica all'estremità O dell'apparato (fig. 115) un pezzo di cristallo bifrangente disposto in un tamburo come nella fig. 116; oppure una lastra di vetro collocata egualmente in un tamburo come nella fig. 119; o infine una lamina di tormalina sostenuta dall'ordigno della fig. 118. A tal fine si dispone il tubo LO (fig. 115) in modo che la luce diffusa del cielo o delle nubi cada sull'ordigno polarizzatore applicato all'estremità L: questa luce, dopo essere stata modificata dal corpo polarizzatore, passa per l'apertura del diaframma nel tubo, e giunge all'occhio per mezzo dell'ordigno destinato a riconoscere una tale

modificazione, od è dal medesimo arrestata. Si fa uso della luce solare diffusa o di quella della fiamma d'una candela, perchè i raggi del sole, essendo troppo intensi, la luce, che è riflessa irregolarmente, non è polarizzata e disturba l'effetto del fenomeno. Tuttavolta nelle indagini conviene per alcuni casi far uso della luce diretta del sole (1).

Per distinguere dunque se un raggio è o non è polarizzato si fa uso dei mezzi stessi che hanno servito a polarizzarlo. È per ciò che gli ordigni medesimi si chiamano *analizzatori*, se sono destinati ad esplorare lo stato della luce; e *polarizzatori* se servono a produrre nella medesima quella modificazione.

847. Quando si sottopone all'osservazione un raggio polarizzato con uno qualunque dei mezzi indicati, importa di ben definire il *piano di polarizzazione*, che si è dichiarato soltanto con considerazioni teoriche (§. 840). Aggiungeremo pertanto che si è convenuto di prendere per *piano di polarizzazione quello secondo il quale è riflesso un raggio luminoso polarizzato per riflessione*. E siccome il polarizzatore non è sempre una superficie riflettente, e d'altronde non di rado accade di essere ignota l'origine da cui ha preso nascimento il fenomeno, così si è adottato un equivalente, indicando un altro carattere per distinguere il piano secondo cui un raggio è polarizzato. Allorquando un raggio luminoso s'abbuia per attraversare una lamina di tormalina, esso ha il piano di polarizzazione parallelo all'asse della lamina di questo minerale. Che se il raggio medesimo attraversa col suo massimo splendore la lamina di tormalina, il suo piano di polarizzazione risulta perpendicolare all'asse della lamina medesima. La lamina di tormalina dunque servirà sempre in ogni caso a stabilire la posizione del piano del raggio polarizzato, e quindi a predire i fenomeni che devono succedere ricevendo il raggio medesimo sopra altri mezzi analizzatori, o facendolo passare attraverso mezzi diafani, o riflettere da corpi per esplorare se queste materie hanno la proprietà di cambiare posizione a quel piano.

Il raggio ordinario della luce che attraversa un cristallo islandico, presenta gli stessi fenomeni del raggio luminoso riflesso dalla prima superficie d'una lastra di vetro sotto l'incidenza di 54°. 35'; per cui si ritiene che *il piano di polarizzazione del raggio ordinario prodotto dal cristallo bifrangente coincida con quello del raggio riflesso dal vetro sotto l'angolo d'incidenza di* 54°. 35'. Talchè, quando la sezione principale del cristallo islandico coincide col piano d'incidenza e ri-

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. IV, pag. 157.

flessione, il raggio riflesso nell'attraversare il cristallo medesimo si rifrange soltanto ordinariamente. Ma facendo ruotare la sezione principale intorno al raggio come asse per un angolo minore di 90° allora questo raggio è diviso in due, l'uno dei quali è rifratto al solito ordinariamente e l'altro straordinariamente. L'intensità luminosa del primo va diminuendo e quella del secondo aumentando a misura che si accresce l'angolo diedro fatto dal piano di riflessione della lastra di vetro colla sezione principale del cristallo islandico; e quando l'angolo eguaglia un retto, il raggio ordinario scompare e rimane soltanto l'altro raggio rifratto straordinariamente. Succede insomma lo stesso fenomeno di quando il raggio ordinario d'un fascio di luce, che ha attraversato un primo cristallo bifrangente, passa per un secondo cristallo pure bifrangente (§. 841): vale a dire che tanto il raggio polarizzato per riflessione dalla lastra di vetro quanto quello ordinario ottenuto per bifrazione dal cristallo islandico, sono rifratti ordinariamente da un cristallo analizzatore, se il piano d'incidenza e di riflessione o quello della sezione principale del primo cristallo sono paralleli alla sezione principale del secondo cristallo analizzatore, ed ambidue si rifrangono soltanto straordinariamente se i detti piani sono fra loro perpendicolari.

Parimenti se il raggio ordinario del cristallo bifrangente, diretto per la sezione principale, si riceve sulla lastra di vetro sotto l'incidenza di 54°. 35', e il piano di riflessione sia parallelo alla sezione principale del cristallo, il raggio viene ripercosso dalla lastra col massimo splendore. Girando però la lastra di vetro in modo da condurre il piano di riflessione perpendicolare alla sezione principale del cristallo, conservando sempre l'angolo d'incidenza di 54°. 35', il raggio s'abbuia e non è più riflesso, ed attraversa in totalità la lastra di vetro.

Il raggio straordinario inoltre prodotto dal cristallo bifrangente è pure polarizzato, ma *il suo piano di polarizzazione è normale a quello del raggio ordinario, o coll'altro del raggio polarizzato per riflessione dalla lastra di vetro.* Imperocchè il raggio straordinario passa interamente nella lastra di vetro ed è rifratto se la sezione principale è parella al piano d'incidenza sulla lastra di vetro. Facendo girare il piano di riflessione e conservando lo stesso angolo d'incidenza di 54°. 35', il raggio straordinario del cristallo bifrangente incomincia ad essere riflesso, e quando questo piano di riflessione è perpendicolare alla sezione principale, il raggio straordinario subisce sulla lastra la riflessione massima. Osservasi altresì che il raggio ordinario e straordinario, che sono somministrati dalla luce naturale nell'attraversare la

sezione principale d'un cristallo bifrangente, il primo è polarizzato nel piano d'emergenza, e il secondo perpendicolarmente a questo piano.

Sapendo in tal modo determinare il rapporto di posizione che hanno fra loro i piani di polarizzazione d'un raggio luminoso, che ha subíto una tale modificazione nell'essere riflesso da una lastra di vetro, o nell'essere rifratto ordinariamente o straordinariamente da un cristallo islandico, e come essi si diportano nell'essere ricevuti sopra una lamina di tormalina, si potrà facilmente definire il piano di polarizzazione d'un raggio luminoso, cui sia stata impressa quella modificazione nel passare attraverso ad un cumulo di lastre di vetro (§. 843).

848. Parecchie materie diafane, per le quali si fa passare un raggio polarizzato, hanno la proprietà di cambiare la posizione del piano di polarizzazione del raggio medesimo, o sono dotate d'un *potere rotatorio*. Biot ha applicato questo principio a scoprire le quantità dei componenti le soluzioni di parecchie sostanze, operando con uno strumento somigliante all'apparato di polarizzazione (1). Anzi, per procedere con maggiore speditezza in questa specie d'indagini, si è imaginato un apparecchio apposito destinato ad analizzare i liquidi, o meglio a riconoscere il grado di dosatura delle materie che sono in essi sciolte (2).

L'apparecchio consiste in due prismi di Nicol (§. 845) centrati sopra un medesimo asse, ove essi sono tenuti ad una distanza invariabile. Il più lontano dall'osservatore è fisso e polarizza il raggio luminoso che si trasmette; l'altro, cui si applica l'occhio, è girevole attorno all'asse, portando un indice che segna, sulla periferia d'un cerchio graduato, l'angolo di rivoluzione percorso. Quando la sezione principale del *prisma analizzatore* è ad angolo retto con quella del *prisma polarizzatore*, il primo non trasmette più il raggio che cade su di esso proveniente dal secondo prisma, e ciò secondo quanto è stato precedentemente esposto. Lo strumento è assestato in maniera che, nell'ultima posizione del prisma analizzatore, l'indice coincide collo zero segnato sulla divisione circolare. Per assicurarsi se questa condizione è adempiuta, si dirige lo strumento verso il cielo, come si farebbe d'un cannocchiale; e quando il raggio trasmesso dal prisma polarizzatore non venisse intieramente abbuiato dall'altro prisma, si

(1) Si veggano gli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. v, pag. 229-231. Al congresso scientifico italiano tenuto in Lucca nacque su questo argomento una discussione, di cui si può vedere la relazione nei suddetti *Annali*, t. xii, pag. 115.

(2) Si veggano i medesimi *Annali*, t. xvii, pag. 113, e t. xxii, pag. 59.

fa questo girare di tanto pel conseguimento del fenomeno, tenendo conto dei gradi di deviazione a partire dallo zero. Per poco che si allontani il prisma mobile da quest'ultima posizione, la trasmissione del raggio pel medesimo incomincia ad aver luogo, va crescendo a misura che l'arco di deviazione aumenta, e giunge al suo massimo quando ha raggiunto $\pm 90^\circ$. Sappiamo che in questo caso le sezioni principali dei due prismi riescono fra loro parallele. A partire da un tal punto sappiamo altresì che la trasmissione del raggio polarizzato passa per le stesse fasi; e quando l'arco di deviazione è giunto a $\pm 180^\circ$, essa ritorna ad essere nulla come al primo punto di partenza, per essere la sezione principale del prisma mobile diventata perpendicolare a quella del prisma fisso come al principio.

Essendosi istituite queste verificazioni e condotto l'indice sul punto zero del cerchio, ove non ha luogo la trasmissione, s'interpone ai due prismi un tubo d'una determinata lunghezza da chiudersi alle sue estremità con lastre di vetro a facce parallele, e riempiuto, p. e., della soluzione di zucchero, di cui si vuole conoscere il potere rotatorio. Si rivolge di nuovo lo stromento verso la luce diffusa del cielo, applicando l'occhio dalla parte del prisma analizzatore, e si vede un'imagine colorata prodotta dai raggi luminosi, ai cui piani di polarizzazione il liquido ha impresso una nuova posizione, differente da quella che era stata loro data dal primo prisma. Si faccia girare ora l'analizzatore, e in questo moto cambia gradatamente il colore di quell'imagine, e ad un certo grado di rivolgimento, tanto più grande quanto più la soluzione è carica di zucchero, essa diventa d'un bellissimo azzurro, poscia d'un rosso giallognolo passando per un violaceo azzurrognolo intermedio, molto facile a cogliere pel suo carattere istantaneo di transizione. È quel colore intermedio che Biot chiama *tinta di passaggio*, la quale rigorosamente non si forma che con una luce perfettamente bianca come quella diffusa del cielo o delle nubi. Ora per ciascuna specie di soluzioni saccarine, che differiscano soltanto le une dalle altre per la dosatura, quando siano osservate in tal modo attraverso un tubo di lunghezza costante, l'arco di deviazione riesce proporzionale al numero dei grammi di zucchero contenuti in un litro di soluzione. Si vien dunque a sapere qual è questo numero dalla misura dell'arco, purchè si conosca la natura dello zucchero contenuto nella soluzione e siasi previamente determinato il coefficiente della proporzionalità che gli è propria.

Il coefficiente si ottiene con un'esperienza diretta. Supponiamo che si tratti di zucchero cristallizzabile di canna. In questo caso si pren-

dono dei cristalli purissimi di questo zucchero e si riducono in polvere grossolana colla triturazione; poscia si disseccano moderatamente in una stufa ad una temperatura conosciuta, per es. di 50 in 60 gradi centesimali. Fatto ciò se ne scioglie un peso noto nell'acqua distillata e si misura direttamente il volume totale della soluzione, il quale si desume dalla densità della medesima unitamente alla sua dosatura. Notando con $p'$ il peso in grammi dello zucchero contenuto in ogni litro, si riempisca della soluzione il tubo dello strumento e sia $a'$ l'arco di deviazione necessario ad ottenere la tinta di passaggio. Allora se un'altra soluzione dello stesso zucchero, osservata attraverso allo stesso tubo ed all'eguale temperatura, formi la tinta di passaggio propria all'arco $a$ di deviazione, il peso $p$ in grammi, che ogni litro contiene, si avrà dalla proporzione:

$$a' : a :: p' : p = \frac{p'}{a'} a.$$

Quando dunque si saranno determinati i due elementi $a'$, $p'$, si potrà coll'osservazione calcolare i valori di $p$ corrispondenti alle diverse deviazioni di $a$. Biot, per es., ha trovato per lo zucchero di canna, preso al punto di disseccazione superiormente indicato, che si ha $p = \frac{1400.\, a}{m}$, essendo $m$ la lunghezza del tubo in millimetri, $a$ l'arco di rotazione del prisma analizzatore per ottenere la tinta di passaggio, ed esprimendo il risultato altrettanti grammi di zucchero contenuto in ogni litro di soluzione. Talchè se il tubo ha la lunghezza di 200 millimetri, ciascun grado di deviazione corrisponderebbe giustamente a 7 grammi di zucchero per litro.

La proprietà di far ruotare il piano di polarizzazione non appartiene soltanto a diversi liquidi, ma eziandio ad alcuni corpi solidi e fluidi aeriformi. Questo potere rotatorio è stato chiamato *polarizzazione circolare* per distinguerla dalla *polarizzazione elittica*, che Brewster pel primo ha riscontrato essere prodotta dall'azione dei metalli. D'altronde tale modificazione della luce nei casi ordinarii si distingue da quella prodotta in virtù d'un potere rotatorio, appellandola *polarizzazione rettilinea.* Queste denominazioni traggono origine dal sistema delle ondulazioni. Eseguendo l'etere, dopo l'azione polarizzante, le vibrazioni perpendicolarmente alla direzione del raggio ed al piano di polarizzazione, si ha la *polarizzazione rettilinea.* Che se due raggi, egualmente polarizzati e componenti un solo fascio luminoso, abbiano delle vibrazioni, che differiscano fra loro d'un quarto di lunghezza e siano fra loro ad angolo retto, la teoria insegna che

essi non compiscono la vibrazione composta in linea retta, ma con un moto circolare, ed il raggio risultante si chiama per ciò dotato di *polarizzazione circolare*. Quando poi i due elementi del raggio polarizzato progrediscono assieme in tal modo con vibrazioni che differiscono fra loro di una parte del quarto di lunghezza, allora nasce un moto vibratorio della forma d'un'elisse, ed ha luogo la *polarizzazione elittica*.

849. La luce nell'essere polarizzata segue alcune leggi, che sono state rintracciate dai fisici e dai geometri con moltiplicati sperimenti e studi assidui, e noi ci facciamo a dichiarare quanto di più importante risguarda il nostro *Corso Elementare*.

Con una lunga serie d'esperimenti Brewster è stato condotto nel 1814 alla semplice legge seguente della polarizzazione della luce ottenuta per riflessione: *la tangente dell'angolo di polarizzazione è eguale all'indice di rifrazione*. Chiamando dunque $p$ l'angolo sotto cui la luce viene polarizzata per riflessione da una materia rifrangente, si ha sempre $tang.\ p=n$, dove al solito $n$ è l'indice di rifrazione. Così per l'acqua è $n=1,336$ (§. 792), per cui si avrà l'angolo $p$ sotto cui questo liquido polarizza la luce per riflessione dall' equazione $tang.p=1,336$. Prendendo i logaritmi, si ha $log.\ tang.\ p=0,1258065$; dalle tavole trigonometriche si trova che ad un tal numero logaritmico corrisponde la tangente di 53°. 11', per cui si deduce che l'acqua polarizza la luce per riflessione sotto l'incidenza di 53°. 11'. Si è in tal maniera che si è calcolato l'angolo di polarizzazione di parecchie materie, il quale non differisce guari dai risultati ottenuti direttamente con l'esperienza, come risulta dai numeri esposti nella tavola seguente:

| | ANGOLO DI POLARIZZAZIONE MASSIMA | |
|---|---|---|
| | *Osservato* | *Calcolato* |
| Aria . . . . . . . . . | 45°. 0' | 45°. 0'. 32" |
| Acqua . . . . . . . . . | 52. 45 | 53. 11: — |
| Spato fluoro . . . . . . . | 54. 50 | 55. 9. — |
| Solfato di calce . . . . . | 56. 28 | 56. 45. |
| Cristallo di monte . . . . | 57. 22 | 56. 58. |
| Spato d'Islanda . . . . . . | 58. 23 | 58. 51. |
| Vetro opalo . . . . . . . | 58. 1 | 58. 33. |
| Vetro aranciato . . . . . . | 59. 12 | 59. 28. |
| Vetro comune . . . . . . | 54. 35 | 56. 18. |
| Perla . . . . . . . . . . | 58. 47 | 58. 50. |
| Diamante . . . . . . . . | 68. 2 | 68. 1. |
| Cromato di piombo. . . . . | 67. 42 | 68. 3. |

L'angolo di polarizzazione massima è calcolato pel vetro il cui indice di rifrazione è 1,5, e quello osservato è dato comunemente nei trattati di fisica. Brewster però dà per lo stesso angolo osservato 56°. 45', il quale differirebbe di poco da quello calcolato. È appunto per ciò che generalmente si dà l'angolo di polarizzazione massima delle materie, che per la loro costanza di composizione hanno un indice di rifrazione costante. Del crovno e del flinto, che hanno degli indici variabili secondo la loro composizione, si troverà in ogni caso il loro angolo di polarizzazione massima colla legge surriferita. S' intende facilmente che dato l'angolo di polarizzazione massima si può rinvenire l'indice di rifrazione. Ecco l'angolo di polarizzazione massima di alcune materie, delle quali varia l'indice di rifrazione secondo la loro composizione.

| | INDICE di rifrazione | Angolo di polarizzazione massima | |
|---|---|---|---|
| | | Osservato | Calcolato |
| Spato fluoro incoloro . . . | 1,4341 | 55°. 6',7 | 55°. 6',7 |
| Detto azzurro cenerognolo . | 1,4343 | 55. 3,8 | 55. 7,0 |
| Vetro inglese . . . . . . . | 1,5130 | 56. 36,0 | 56. 32,2 |
| Detto simile . . . . . . . . | 1,5523 | 57. 12,6 | 57. 12,6 |
| Flinto inglese . . . . . . . | 1,5783 | 57. 41,0 | 57. 38,5 |
| Detto simile . . . . . . . . | 1,6206 | 58. 16,6 | 58. 19,4 |

L'acqua è dunque dotata d'un angolo di polarizzazione massima differente da quello del vetro: se quindi si dispone una lastra di vetro sotto l'angolo, in cui la luce è polarizzata per riflessione; alitando sulla lastra, il raggio luminoso perde la sua polarità, perchè allora l'angolo di polarizzazione è quello di 52°. 45' proprio dell'acqua, e non l'altro di 56°. 45' dovuto al vetro. Per tal modo se si collocano due lastre di vetro, l'una inclinata sotto l'incidenza di 56°. 45' e l'altra di 52°. 45 per rapporto ad un raggio di luce polarizzata, e se questo raggio abbia tale grossezza da cadere in parte sopra una lastra ed in parte sull'altra, si trova che il raggio medesimo è visi-

bile per riflessione sulla seconda lastra ed invisibile sulla prima: ma soffiando sulle due superficie riflettenti, si ha il fenomeno curioso di fare scomparire l'imagine esistente e nascere una nuova per riflessione sull'altra lastra. Per avere un fascio di luce polarizzata abbastanza grande per questo sperimento conviene servirsi della doppia rifrazione (§. 845).

850. Si può annunziare sotto altra forma la legge surriferita, dicendo che *il raggio riflesso per ottenere la polarizzazione massima è perpendicolare a quello rifratto.* Chiamando $r$ l'angolo di rifrazione, e ritenendo nel resto le precedenti denominazioni, sappiamo che (§. 770) $\frac{sen.\ p}{sen.\ r}=n$, giacchè l'angolo di riflessione eguaglia quello d'incidenza (§. 754), ed inoltre per la legge summentovata è $tang.\ p=n$, ossia $\frac{sen.\ p}{cos.\ p}=n$. Eliminando dalle due equazioni $sen.\ p$, si ha $cos.\ p=sen.\ r$. Siccome poi dalla trigonometria si sa che il seno d'un angolo eguaglia il coseno dell'angolo di complemento, così gli angoli $p$, $r$ sono l'uno complemento dell'altro, vale a dire che è $p+r=90^{\circ}$. Ora è facile il vedere che la somma $p+r$ forma un angolo supplemento di quello che fanno il raggio riflesso col rifratto; così ne risulta che questi due raggi riescono fra loro perpendicolari. Per l'acqua dunque, essendo l'angolo d'incidenza o di polarizzazione massima di $52^{\circ}.\ 45'$, quello di rifrazione risulta di $37^{\circ}.\ 15'$.

Si osservi che gli indici di rifrazione variano secondo i raggi di differenti colori, e perciò deve variare del pari l'angolo di polarizzazione massima proprio a ciascun raggio colorato. Ciò è facile ad essere verificato, col far cadere sopra una lastra di vetro i differenti raggi colorati dello spettro e di riceverli riflessi con qualcheduno degli apparati analizzatori (§. 846) per riconoscere la modificazione da essi subita. Se la luce polarizzata è un fascio di luce bianca, che si riceve sopra un vetro disposto come analizzatore e che deve assorbirlo o ripercuoterlo, si vedrà nella camera nera una debole luce riflessa dal vetro analizzatore, la quale apparirà ora colorata in rosso, ora in violaceo, secondo che gli angoli d'incidenza sono disposti per polarizzare la luce violacea o quella rossa. Brewster ha determinato per l'acqua ed il vetro da specchio gli angoli di polarizzazione massima esposti nel seguente prospetto, cui si uniscono i rispettivi indici di rifrazione.

| MATERIE | RAGGI | Indice di rifrazione | Angolo di polarizzazione massima |
| --- | --- | --- | --- |
| Acqua . . | Rossi. . . . | 1,330 | 53°. 4' |
| | Medi . . . . | 1,336 | 53. 11. |
| | Violacei . . | 1,342 | 53. 19. |
| Vetro . . | Rossi. . . . | 1,515 | 56. 34. |
| | Medi . . . . | 1,525 | 56. 45. |
| | Violacei . . | 1,535 | 56. 55. |

851. Si è veduto che un raggio luminoso, penetrando in un mezzo trasparente, all'atto d'uscire pel lato opposto subisce di nuovo sulla seconda superficie del mezzo una riflessione (§. 773). La luce quindi può essere anche polarizzata alla seconda superficie d'un corpo trasparente, in cui è penetrata. L'angolo di polarizzazione segue la medesima legge, notando soltanto che l'indice di rifrazione va preso inversamente, ossia invece di $n$ esso è $\frac{1}{n}$, che eguaglia la tangente dell'angolo di polarizzazione. Infatti imaginiamo una lastra trasparente a superficie parallele, sulla quale cade un raggio luminoso sotto l'angolo $p$ di polarizzazione massima. Questo raggio in parte è riflesso e in parte penetra nella lastra, essendo quest'ultima parte riflessa alla seconda superficie della medesima sotto un angolo d'incidenza, che, pel parallelismo delle due superficie, eguaglia l'angolo di rifrazione $r$. Si ha quindi, per la legge della rifrazione ordinaria (§. 770), $\frac{sen.\ p}{sen.\ r}=n$ e, pel secondo caso della precedente legge di polarizzazione, $sen.\ p=cos.\ r$. Eliminando da queste due equazioni $sen.\ p$, si ha $\frac{cos.\ r}{sen.\ r}=n$, ossia $cotang.\ r=n$ e quindi $tang.\ r=\frac{1}{n}$. Dunque la *tangente dell'angolo di polarizzazione alla seconda superficie dei corpi trasparenti è espressa dal rapporto inverso dell'indice di rifrazione dei corpi medesimi*. Da ciò si ricava che *l'angolo di polarizzazione alla seconda superficie dei corpi è eguale al complemento dell'angolo di polarizzazione alla prima superficie.*

Le leggi esposte sulla polarizzazione per riflessione sono applicabili alle superficie di separazione di due mezzi di differente forza rifrattiva. Se il mezzo superiore è l'acqua e l'inferiore il vetro, il loro indice relativo di rifrazione è eguale ad 1,526 diviso per 1,336 ossia 1,142 (§. 787). Chiamando quindi $p$ l'angolo di polarizzazione massima prodotta dalla riflessione della superficie che separa l'acqua dal vetro, si avrà *tang.* $p=1,142$, da cui si ricava $p=48^\circ.\ 48'$. Se invece dell'acqua sopranuoti al vetro dell'olio di cassia, che è dotato di maggior forza rifrattiva del vetro medesimo, allora come nel caso del vetro con l'aria, dove la riflessione succede alla seconda superficie del primo corpo, la tangente dell'angolo di polarizzazione eguaglia l'unità divisa per l'indice relativo di rifrazione delle due materie. L'indice di rifrazione dell'olio di cassia essendo 1,641 e quello del vetro 1,526, il loro indice relativo (§. 787) risulta $\frac{1,641}{1,526} = 1,057$.

Sarà quindi in questo caso *tang.* $p=\frac{1}{1,075}=0,930232$, da cui, colle tavole trigonometriche, si deduce $p=42^\circ.\ 56'$.

852. Parlando dell'intensità della luce riflessa dai corpi, abbiamo detto ch'essa è collegata colla rifrazione e colla polarizzazione (§. 755). Ora che conosciamo l'una e l'altra di queste proprietà, giova riprendere l'argomento e mostrare quale sia il collegamento fra la riflessione, la rifrazione e la polarizzazione. Le precedenti leggi mostrano la relazione che passa fra le due ultime proprietà; ora vediamo i rapporti che esse hanno colla quantità di luce riflessa.

Si è veduto come un raggio polarizzato non prova veruna riflessione, quando cade sulla superficie d'un corpo inclinato sotto l'angolo di polarizzazione massima e il piano d'incidenza è perpendicolare a quello di polarizzazione. Rappresentando l'intensità della luce riflessa con $q$, è chiaro che in questo caso si ha $q=o$. Tenendo costante l'angolo d'incidenza, si faccia girare la superficie riflettente in modo che il piano della stessa incidenza faccia un angolo minor del retto e vada gradatamente avvicinandosi ad essere parallelo a quello di polarizzazione ed essere ridotto a zero l'angolo che fanno i due piani. A misura che essi si avvicinano al parallelismo, la luce riflessa va continuamente aumentando in intensità, sinchè nella posizione parallela essa ha acquistato il massimo splendore. Notando con $m$ questa intensità massima si ha $q=m$. Nelle inclinazioni intermedie alle posizioni perpendicolare e parallela dei due piani, le differenti intensità della luce riflessa sotto i differenti angoli $a$ dei detti due

piani, sono state rappresentate da Malus colla formola $q=m\ cos.^2\ a$.

Questa formola è confermata dalle sperienze di Arago, come pure da altre formole fondate sulla medesima e del pari confermate dall'esperienza. Se quindi è $a=o^o$, cioè il piano d'incidenza e quello di polarizzazione sono paralleli fra loro, risulta $q=m$; se $a=45^o$, allora è $q=\frac{m}{2}$; infine se $a=90^o$, si ottiene $q=o$.

Dalla legge, rappresentata nella formola di Malus, siamo condotti a ritenere che un fascio di luce naturale può essere considerato composto di due raggi d'eguale intensità e polarizzati l'uno ad angolo retto dell'altro, come si è dedotto da semplici considerazioni sistematiche (§. 840). Imperciocchè, facendo il piano di polarizzazione del primo di questi raggi un angolo $a$ con quello d'incidenza, il piano di polarizzazione del secondo raggio farà l'angolo $90^o-a$. Secondo la formola, l'intensità della luce riflessa dall'uno sarà rappresentata da $m\ cos.^2\ a$ e l'intensità di quella riflessa dall'altro da $m\ cos.^2\ (90^o-a)$, ossia da $m\ sen.^2\ a$. La somma delle due intensità risulta

$$m\ (cos.^2\ a+sen.^2\ a)=m,$$

vale a dire che eguaglia l'intensità totale $m$, ed è sempre indipendente dall'angolo $a$, sotto cui sono inclinati i due piani, il che è il carattere della luce naturale.

853. Presentandosi un fascio di luce polarizzata ad una lamina di tormalina, si è veduto (§. 847) che, quando il piano di polarizzazione è parallelo all'asse cristallografico di quel minerale, ha luogo un assorbimento compiuto della luce medesima, e l'intensità di quella trasmessa è eguale a zero. Allorchè il piano è perpendicolare all'asse, l'intensità della luce trasmessa è al suo massimo. La gradazione, che prende la luce nelle posizioni intermedie al piano di polarizzazione ed all'asse della tormalina secondo l'angolo $a$, che essi fanno, si suole rappresentare dai fisici colla stessa formola $q=m\ cos.^2\ a$.

Nell'esperienza poi altrove descritta (§. 841), il raggio ordinario e quello straordinario che si ricevono sopra un secondo cristallo bifrangente, prendono delle gradazioni nelle loro facoltà luminose l'uno a scapito dell'altro, in maniera che le loro intensità relative dipendono dall'angolo $a$ che la sezione principale dello stesso cristallo fa col piano di polarizzazione. Ed è per ciò che le intensità luminose rispettive dei due raggi si rappresentano pure secondo la formola di Malus, essendo quella del raggio ordinario espressa da $m\ cos.^2\ a$, e l'altra del raggio straordinario da $m\ sen.^2\ a$, dove $m$ è l'intensità luminosa del

fascio di luce incidente. In questa rappresentazione si ammette, come nelle precedenti, che non vi sia verun assorbimento in virtù del cristallo indipendentemente dalla polarizzazione (§. 830).

854. Con considerazioni generali di mecanica ed all'appoggio della legge stabilita da Malus (§. 852), Fresnel ha ottenuto la formola seguente per esprimere l'intensità della luce riflessa da un corpo sotto qualunque angolo d'incidenza e nel caso che essa sia di già polarizzata (1):

$$q = \frac{sen.^2\,(i-r)}{sen.^2\,(i+r)} \cdot cos.^2\,a + \frac{tang.^2\,(i-r)}{tang.^2\,(i+r)} \cdot sen.^2\,a.$$

In questa formola $i$, $r$ sono rispettivamente gli angoli d'incidenza e di rifrazione, $a$ l'angolo che il piano di polarizzazione fa con quello di riflessione e che chiamasi in ottica l'*azimuto del piano di polarizzazione,* ed infine $q$ rappresenta l'intensità della luce riflessa, essendo quella incidente presa per unità.

Questa formola è stata adottata da quasi tutti i fisici: Chauchy però, all'appoggio di ulteriori considerazioni, giunse a stabilirne un'altra differente, che è stata sottoposta alla prova con una lunga serie d'esperienze da Jamin per riconoscere se essa racchiudeva l'espressione di qualche fenomeno, cui non soddisfaceva la prima, e che venne trovata essere giusta e comprendere in sè quella stessa di Fresnel (2). Tuttavolta si ritiene che la formola di Fresnel esprima con molta approssimazione pratica le intensità della luce riflessa, ed è per ciò che ci occuperemo di essa applicandola ad alcuni casi particolari.

Si è altrove veduto che la quantità di luce riflessa aumenta in generale con l'angolo d'incidenza, e che per esprimerne la misura con una formola era necessario conoscere altre proprietà del fluido luminoso, fra le quali quella della polarizzazione (§. 755). Ora si comprenderà meglio quell'osservazione, e si vedrà quanta influenza abbiano nella riflessione della luce le facoltà polarizzante e rifrangente del corpo da cui è riflessa.

Allorquando la luce ha il piano di polarizzazione nel piano stesso d'incidenza, risulta $a=o^0$, e per conseguenza è $sen.^2\,a=o$ e $cos.^2\,a=1$. La formola quindi in questo caso si riduce $q=\frac{sen.^2\,(i-r)}{sen.^2\,(i+r)}$, dalla

(1) *Annales de chimie et de physique* di Parigi, t. XVII e t. XXIX, seconda serie

(2) Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. IV, pag. 155 e 234, seconda serie.

quale si ha la quantità della luce riflessa, dato l'angolo d'incidenza e l'indice $n$ di rifrazione, per cui si determina l'angolo $r$ (§. 770).

Cada un fascio luminoso polarizzato sopra una lastra di vetro comune e poscia lo stesso fascio sulla superficie dell'acqua limpida e stagnante sotto l'angolo d'incidenza di 60°. Pel vetro è l'indice $n=1,5$ e per l'acqua $n=1,336$; si avrà quindi per la prima materia $\frac{sen.\ 60^o}{sen.\ r}=1,5$ e per la seconda $\frac{sen.\ 60^o}{sen.\ r}=1,336$. Riguardo al vetro sarà dunque $sen.\ r=\frac{sen.\ 60^o}{1,5}$ ed all'acqua $sen.\ r=\frac{sen.\ 60^o}{1,336}$. Prendendo i logaritmi, si ottiene rispettivamente nei due casi $log.\ sen.\ r=9,7614393$ e $log.\ sen.\ r=9,8117241$; e, cercando nelle tavole trigonometriche quali angoli corrispondono ai logaritmi di questi seni, si trova pel vetro $r=35^o.\ 16'$ e per l'acqua $r=40^o.\ 25'$.

Si valuti ora colla formola precedente la quantità di luce riflessa dal vetro e dall'acqua detta 1 quella incidente, e si avrà pel vetro $q=\frac{sen.^2\ 24^o.\ 44'}{sen.^2\ 95^o.\ 16'}$ e per l'acqua $q=\frac{sen.^2\ 19^o.\ 35'}{sen.^2\ 100^o.\ 25'}$. Prendendo i logaritmi e poscia passando ai numeri, si ha la quantità di luce riflessa dal vetro $q=0,017654$ e quella riflessa dall'acqua 0,011614; ossia ogni 1000 raggi il vetro ne riflette 17,654 e l'acqua 11,614, cioè sotto l'angolo d'incidenza di 60° o sotto l'inclinazione di 30° colla superficie riflettente, l'acqua riflette circa $\frac{2}{3}$ della luce di quella che è riflessa dal vetro. Egual rapporto è stato trovato per la luce naturale con metodi sperimentali poco rigorosi sotto la stessa incidenza (§. 755).

Se l'angolo $i$ eguaglia quello della polarizzazione massima, allora è $i+r=90^o$ (§. 850) e per conseguenza $sen.\ (i+r)=1$: in questo caso la quantità di luce riflessa risulta $q=sen.^2\ (i-r)$. L'angolo di polarizzazione massima del vetro è $i=56^o.\ 45'$ e dell'acqua $i=52^o.\ 45'$ (§. 849), per cui $r=33^o.\ 15'$ per la prima materia ed $r=37^o.\ 15'$ per la seconda. Con questi dati è facile ottenere pel vetro e per l'acqua, la quantità di luce riflessa, la quale per la prima risulta $q=0,01590$ e per la seconda materia $q=0,00698$, ossia per ogni 1000 raggi quasi 16 soltanto sono riflessi dal vetro e 7 dall'acqua.

Allorquando la luce è polarizzata in un piano perpendicolare a quello d'incidenza, allora è $a=90^o$, $sen.^2\ a=1$ e $cos.^2\ a=o$, per cui risulta $q=\frac{tang.^2\ (i-r)}{tang.^2\ (i+r)}$. Che se sia inoltre l'angolo $i$ quello di pola-

rizzazione massima, in tal caso si ha $i+r=90^{\circ}$ (§. 850), e per conseguenza $tang.^2\ (i+r)=\infty$. Dunque la quantità di luce riflessa in questo caso vien ad essere $q=o$, come sappiamo già dall'esperienza (§. 846).

Se il piano di polarizzazione fa l'angolo di 45° con quello d'incidenza, allora è $a=45^{\circ}$, $sen.^2\ a=\frac{1}{2}$ e $cos.^2\ a=\frac{1}{2}$. In questo caso la quantità di luce riflessa risulta

$$q=\frac{1}{2}\left(\frac{sen.^2\ (i-r)}{sen.^2\ (i+r)}+\frac{tang.^2\ (i-r)}{tang.^2\ (i+r)}\right).$$

Quest'espressione è identica con quella che si avrebbe da un fascio di luce incidente composto di due raggi d'eguale intensità, ciascuno cioè dell'intensità $\frac{1}{2}$ di quella 1 del fascio medesimo, avendo l'uno il suo piano di polarizzazione nel piano d'incidenza, e l'altro perpendicolare al medesimo. Il primo infatti sarebbe dotato dell'intensità $q'=\frac{1}{2}\cdot\frac{sen.^2\ (i-r)}{sen.^2\ (i+r)}$ e il secondo $q''=\frac{1}{2}\cdot\frac{tang.^2\ (i-r)}{tang.^2\ (i+r)}$. Per cui, cadendo riuniti sulla superficie riflettente, essi darebbero l'intensità $q=q'+q''$, ossia $q=\frac{1}{2}\left(\frac{sen.^2\ (i-r)}{sen.^2\ (i+r)}+\frac{tang.^2\ (i-r)}{tang.^2\ (i+r)}\right)$ il quale valore e identico col precedente,

Se l'angolo d'incidenza è molto piccolo in maniera che i seni e le tangenti si confondano sensibilmente coll'arco rispettivo al pari di quelli dell'angolo di rifrazione, e si possano per tal maniera prendere gli archi pei seni e per le tangenti corrispondenti, si ha per la legge della rifrazione ordinaria $i=nr$, e per conseguenza la quantità di luce riflessa

$$q=\frac{r^2\ (n-1)^2}{r^2\ (n+1)^2}\cdot cos.^2\ a+\frac{r^2\ (n-1)^2}{r^2\ (n+1)^2}\cdot sen.^2\ a,$$

ossia $q=(cos.^2\ a+sen.^2\ a)\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$.

Da cui si apprende che sotto piccolissimi angoli d'incidenza e per conseguenza anche quando il fascio cade perpendicolare sulla superficie, nel qual caso l'incidenza è zero, la quantità di luce riflessa si conserva costante sia essa allo stato naturale o polarizzata in un qualunque piano.

Pel nostro scopo bastano i cenni dati intorno alla formola, dalla quale si ha nei differenti casi di polarizzazione la quantità di luce ri-

flessa. Aggiungiamo altresì che, per ottenere l'espressione della luce trasmessa o rifratta, non si ha altro che a sottrarre la luce riflessa da quella incidente, ritenendo come trascurabile la poca luce riflessa irregolarmente ed assorbita. La formola dunque per la quantità della luce trasmessa, vien ad essere

$$q' = \left(1 - \frac{sen.^2\,(i-r)}{sen.^2\,(i+r)}\right) cos.^2\,a + \left(1 - \frac{tang.^2\,(i-r)}{tang.^2\,(i+r)}\right) sen.^2\,a,$$

la quale quantità sommata coll'altra $q$ di luce riflessa dà $q+q'=1$.

855. All'epoca della scoperta della polarizzazione della luce per riflessione, i metalli presentavano un' anomalia difficile ad essere spiegata, e Malus ritenne sin d'allora ch'essi non producevano verun effetto sulla luce. Riconobbe poscia che la differenza, fra i corpi trasparenti ed i metallici, consiste nel riflettere i primi tutta la luce che polarizzano in un piano, e nel rifrangere tutta quella polarizzata nel piano opposto; e nel riflettere i secondi la luce, che polarizzano, in ambidue i piani. Brewster e in seguito altri fisici giunsero a stabilire la polarizzazione della luce prodotta dalla riflessione dei metalli.

Nell'azione dei metalli sulla luce ordinaria, il raggio polarizzato nel piano di riflessione è sempre più intenso di quello polarizzato nel piano perpendicolare. La più piccola differenza fra questi raggi è stata riscontrata da Brewster nell'argento e la più grande nella galena; per cui quest'ultima materia polarizza maggior quantità di luce dell'argento nel piano di riflessione. Le materie seguenti polarizzano nel piano di riflessione, in confronto del piano perpendicolare, secondo l'ordine, con cui sono disposte: — Galena — Piombo — Cobalto — Pirite di ferro — Antimonio — Acciaio — Zinco — Metallo degli specchi — Platino — Bismuto — Mercurio — Rame — Stagno — Bronzo — Oro comune — Oro puro — Argento comune — Argento puro — Il vetro verrebbe in seguito di questa serie, polarizzando esso la luce compiutamente in un piano perpendicolare a quello di riflessione (§. 846).

Aumentando il numero delle riflessioni, la luce incidente può essere compiutamente polarizzata nel piano di riflessione. Con lastre d'acciaio mediante 8 riflessioni si polarizza compiutamente la luce di una candela di cera collocata alla distanza di circa tre metri. È necessario un maggior numero di riflessioni (più di 36) per conseguire il medesimo effetto con lastre d'argento puro.

Per esaminare l'azione dei metalli sulla luce bisogna servirsi di lastre piane e ben pulite, delle dimensioni di 3 in 4 centimetri per 1 in 2. Si fissano queste lastre parallelamente sopra un gonimetro o qua-

lunque altro strumento fornito di divisioni per la misura degli angoli, in maniera da poterle avvicinare od allontanare l'una dall'altra e disporre le loro superficie a ricevere sotto differenti angoli il raggio polarizzato. Poscia si fa muovere il piano di polarizzazione del raggio luminoso per condurlo sotto qualche angolo con quello di riflessione. Coi mezzi analizzatori suddescritti (§. 846), si esplora la modificazione subita dalla luce dopo essere stata riflessa una o più volte dalle lastre metalliche.

Con questa disposizione si riconosce che i metalli non hanno, come il vetro ed altre materie, un angolo per polarizzare compiutamente la luce. Tuttavolta l'angolo, sotto cui i metalli producono la maggior quantità possibile di luce polarizzata nel piano di riflessione, si chiama *angolo di polarizzazione massima,* quantunque essa non sia completa. Quest'angolo è per l'acciaio di 71° e secondo Brewster di 75°, pel mercurio di 76°. 30′. Applicando la legge conosciuta (§. 849), dovrebbe essere per l'acciaio *tang.* 71°$=n$, oppure *tang.* 75°$=n$, e pel mercurio *tang.* 76°. 30′$=n$, per cui l'indice di rifrazione sarebbe per l'acciaio di 2,904 o secondo Brewster di 3,732, e quello del mercurio di 4,165 che Herschel porta a 5,000. Brewster dà la tavola seguente per l'angolo di polarizzazione massima possibile prodotta dai metalli nella riflessione:

| METALLI | ANGOLO DI polarizzazione massima | INDICE di rifrazione |
|---|---|---|
| Mercurio . . . . . | 78° 27′ | 4,893 |
| Galena . . . . . . | 78. 10. | 4,773 |
| Pirite di ferro . . . | 77. 30, | 4,511 |
| Cobalto . . . . . | 76. 56. | 4,309 |
| Metallo degli specchi . | 76. — | 4,011 |
| Antimonio. . . . . | 75. 25. | 3,844 |
| Acciaio . . . . . | 75. — | 3,732 |
| Bismuto . . . . . | 74. 50. | 3,689 |
| Argento puro, . . . | 73. — | 3,271 |
| Zinco . . . . . . | 72. 30. | 3,172 |
| Stagno battuto . . . | 70. 50. | 2,879 |
| Oro degli orefici . . . | 70. 45. | 2,864 |

I metalli dunque, anche sotto l'angolo più proprio per la polarizzazione, non polarizzano la luce che parzialmente, come avviene per

riflessione delle materie trasparenti, quando il raggio incidente si discosta dall'angolo di polarizzazione massima (§. 842) e per rifrazione quando non s' impiega il numero conveniente di lastre o si varia l'angolo d'incidenza per conseguire la compiuta polarizzazione (§. 843).

856. Si è cercato di stabilire qual legge segue l'intensità della luce riflessa, che cade polarizzata sopra un metallo. Jamin ha misurato le intensità della luce riflessa, per tutte le incidenze di due in due gradi da 86 sino a 20 gradi, sopra lamine d'acciaio e del metallo degli specchi, ed ha trovato che, se il raggio incidente è polarizzato nel piano d'incidenza, le intensità riflesse decrescono progressivamente, ma molto lentamente, dall'incidenza radente sino a quella normale (1). Egli ha anche stabilito una formola che s'accorda coi risultati da lui ottenuti mediante l'esperienza, come apparisce per l'acciaio dal quadro seguente:

| *Incidenze* | 85. | 70. | 50. | 30. | 20. |
|---|---|---|---|---|---|
| Intensità osservate | 0,951 | 0,915 | 0,828 | 0,790 | 0,780 |
| Intensità calcolate | 0,977 | 0,910 | 0,842 | 0,895 | 0,781 |

Allorquando la luce è polarizzata nell'azimuto di 90°, se l'incidenza diminuisce da 90 a 0 gradi, le intensità dapprima decrescono sino ad un angolo particolare, che è quello della polarizzazione massima, e poscia aumentano sino a 0 gradi come apparisce dai numeri seguenti:

| *Incidenze* | 85. | 70. | 60. | 30. | 20. |
|---|---|---|---|---|---|
| Intensità osservate | 0,719 | 0,566 | 0,630 | 0,760 | 0,770 |
| Intensità calcolate | 0,709 | 0,563 | 0,630 | 0,742 | 0,758 |

Senza occuparci di altre formole, basta d'aver mostrato che, quando la luce è polarizzata, può, sotto un dato angolo d'incidenza, esserne riflessa da un metallo in minor quantità che sotto un angolo maggiore, a differenza dei risultamenti ottenuti colla luce naturale (§. 755).

857. La luce non solo è polarizzata dai corpi solidi e liquidi nelle diverse maniere che abbiamo dichiarato, ma ben anche dai fluidi elastici e principalmente dall'aria e dai vapori. Infatti si è trovato che la luce d'un bel cielo azzurro è più o meno polarizzata; e nell'atmosfera si riconobbero dei *punti neutri*, nei quali la polarizzazione è nulla, mentre in altri la luce si manifesta polarizzata (2). I punti

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVII, pag. 58.

(2) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III, pag. 51.

neutri accadono ad una data altezza del sole sull'orizzonte e in certe ore del giorno; come pure alcune volte in determinate circostanze dell'atmosfera.

La luce è in parte polarizzata per riflessione dagli strati d'aria; e il piano di polarizzazione riesce verticale se si fa l'osservazione in un luogo posto di contro al sole. Risulta invece orizzontale quando, quasi all'egual elevazione del sole, si sceglie il punto, verso cui si dirige l'occhio, pressochè alla distanza di 90° da quell'astro. Le nubi bianche, mentre il sole splende vigoroso, mostrano pure qualche traccia di luce polarizzata per riflessione. Ma quanto più il cielo coperto comparisce uniformemente bianco, tanto più la riflessione della luce si fa egualmente per ogni parte e per conseguenza tanto meno la luce riesce polarizzata. È appunto per ciò che, richiedendosi della luce naturale per sottoporla alla prova degli apparati polarizzatori, si è detto che bisogna servirsi di quella diffusa dalle nubi o di un cielo coperto uniformemente bianco (§. 846).

Si può esplorare lo stato della luce con uno dei mezzi superiormente descritti (§. 846); ma per distinguere se la luce nell'atmosfera è o non è polarizzata, serve comodamente il *polariscopio*. Esso consiste in due lamine di cristallo di rocca, ciascuna della grossezza di 1 in 2 millimetri, tagliate parallelamente ad una delle loro superficie naturali e poste l'una sull'altra in modo che le loro sezioni principali (§. 835) s'intersechino ad angolo retto. Di contro ad esse è collocata una lamina di tormalina, il cui asse divide per metà quell'angolo retto. Le tre lamine così disposte in un tubo formano un sistema della grossezza di 6 in 10 millimetri. Rivolgendo l'apparato verso la luce polarizzata, appariscono delle striscie rettilinee colorate, divise da intervalli oscuri e giacenti nel piano di polarizzazione della luce medesima. Al cristallo di rocca si possono sostituire delle lamine di spato islandico, tagliato parallelamente alle superficie naturali del romboide.

858. I fenomeni della polarizzazione si spiegano col sistema delle ondulazioni, e il calcolo è venuto in sussidio all'esperienza per rannodarli e rappresentarli con formole più o meno complicate, ponendo per base il principio delle interferenze (§. 825).

Una classe assai più numerosa di fatti e di fenomeni, presenta la luce polarizzata con apparenze di colorazione, i quali si distinguono perciò dai precedenti col nome di *fenomeni cromatici di polarizzazione*. Noi ne faremo conoscere i più importanti e la maniera di ottenerli. In quanto ai principii teorici da cui dipendono, ci limitiamo a dire: 1° *che due raggi polarizzati in piani paralleli possono inter-*

*ferire* modificando i loro movimenti vibratorii, e quindi *produrre dei colori come colla luce comune* (§. 820); mentre *due raggi polarizzati in piani perpendicolari non possono interferire colle loro ondulazioni;* 2° *che le onde più corte producono il violaceo e le più lunghe il rosso, mentre le onde degli altri colori hanno delle lunghezze intermedie a quelle dei due raggi estremi* (§. 820); 3° *che i raggi polarizzati interferiscono, quand'anche i loro piani di polarizzazione siano inclinati ad angoli intermedii a* 0° *e* 90°, *e producono dei colori intermedii i quali si estinguono quando quei piani fanno angolo retto e riprendono il maggior splendore nel parallelismo.* Il primo principio è una conseguenza d'esperienze consimili a quella di Grimaldi (§. 824) ed all'altra di Fresnel (§. 825). Colla scorta di questi tre principii si può prendere un'idea del modo con cui avvengono i fenomeni cromatici, che si ottengono colla luce polarizzata; pei quali si è cercato col calcolo di valutarli in ogni singolo periodo ed in ogni particolare circostanza.

Ciò che importa di notare, analogamente al primo principio, si è che, venendo un fascio di luce naturale separato in due raggi polarizzati, questi hanno sempre i piani di polarizzazione perpendicolari l'uno all'altro. Infatti la luce, nel passare per un cristallo bifrangente, è divisa nel raggio ordinario e in quello straordinario, i quali sono polarizzati coi piani di polarizzazione perpendicolari (§. 841). Parimenti un fascio diviso in un raggio polarizzato per riflessione da un corpo trasparente (§. 842), questo raggio ha il piano di polarizzazione perpendicolare a quello del raggio trasmesso componente il fascio medesimo (§. 843). Questi fatti s'accordano colle considerazioni teoriche superiormente esposte (§. 840).

859. I colori, prodotti dalla luce polarizzata nell'attraversare i corpi bifrangenti, sono così brillanti che si reputano i più bei fenomeni di questo genere. Essi furono scoperti quasi contemporaneamente da Arago e da Brewster, e in seguito moltiplicati da Biot e da altri fisici. Se si guarda la luce diffusa del cielo attraverso una sottile lamina di solfato calcare o di mica, essa comparisce bianca come all'occhio libero, e la lamina si presenta perfettamente diafana. Quand'anche la luce sia polarizzata per un bel sereno azzurro o per qualche nube, non cambia di apparenza attraverso alla lamina cristallizzata. Ma se osservi la lamina attraverso un prisma bifrangente, essa comparisce duplicata e ciascuna imagine colorata diversamente; i colori però non si vedono quando la luce non è polarizzata o proviene da quella diffusa di un cielo uniformemente coperto (§. 857). Nell'altro caso

la vivacità dei colori dipende dalla regione del cielo verso cui si rivolge la lamina, vale a dire dipende da una luce più o meno polarizzata. Il fenomeno varia altresì secondo l'obliquità dei raggi luminosi. Per meglio definirlo in ogni circostanza, si suole polarizzare il fascio luminoso artificialmente e fare le osservazioni nella maniera che andiamo a descrivere.

860. Sia A una lastra di vetro, che riceve un raggio luminoso Ss sotto l'angolo d'incidenza di 56°. 45°, e lo riflette polarizzato (§. 842) nella direzione *sr* (fig. 120). Una seconda lastra B di vetro, il cui piano di riflessione è perpendicolare a quello della lastra A, riflette il raggio polarizzato *sr* verso l'occhio collocato in O egualmente sotto l'angolo di 56°. 45'. Si può sostituire alla lastra polarizzatrice A una pila di 10 in 12 lastre di vetro o meglio di lastre di flinto oliate, e ciò allo scopo di ottenere un fascio luminoso polarizzato di maggiore splendore (§. 843). La lastra o le lastre collocate in A sono gli ordigni polarizzatori, e quella disposta in B la lastra analizzatrice, alla quale si può sostituire qualunque altro mezzo analizzatore (§. 846).

Quando il raggio *sr* non è polarizzato, l'occhio O vedrebbe nella direzione *Or* la parte del cielo, da cui esso proviene. Ora, essendo *sr* polarizzato e ricevuto dalla lastra B pure sotto l'angolo di polarizzazione e nella data posizione, esso non viene riflesso da questa lastra (§. 846), ed all'occhio, posto in O, comparisce una macchia nera nella parte del cielo, da cui giunge il raggio medesimo *sr*. Non vedendo questa macchia nera, si ha una prova che la lastra analizzatrice B non è convenientemente inclinata rispetto a quella A polarizzatrice. In questo caso si rimoverà l'una o l'altra lastra o ambedue per conseguire la giusta posizione, nella quale si ha la macchia nera.

Disposte così le cose, si prepari una sottile lamina di solfato di calce o di mica della grossezza di millimetri 0,4 o al più 1,2 che si può distaccare con un temperino da un pezzo di quei minerali, e si collochi questa lamina *abcd* fra le due lastre di vetro, la polarizzatrice e l'analizzatrice, talchè il raggio polarizzato *sr* sia obbligato ad attraversare perpendicolarmente la lamina medesima. Osservando in questo caso coll'occhio in O nella stessa posizione in cui compariva la macchia nera, si vede la lamina *abcd* coperta di vaghi e brillanti colori, i quali si riducono ad un solo quando la lamina abbia in tutta la sua estensione l'eguale grossezza. Quando le grossezze siano differenti, ciascuna parte appartenente alle medesime presenta colori diversi, essendo alcuni azzurri, altri rossi, altri verdi ed altri gialli e tutti molto splendenti.

Si rivolga ora intorno a se medesima la lamina *abcd* tenendola sempre perpendicolare al fascio luminoso polarizzato *sr*, in questo movimento diventano i colori più o meno brillanti senza essere cambiati e si hanno due posizioni, alle quali corrispondono le due linee *ab*, *cd* ad angolo retto fra loro e tali che, quando qualcheduna di esse si trova nel piano *sr*O di seconda riflessione o in quello S*sr* della polarizzazione primitiva, non si vedono colori e comparisce soltanto la macchia nera come avanti l'interposizione della lamina *abcd*. Si osserva altresì che i colori ritornano a comparire continuando a far girare la lamina cristallizzata, e ricevono il maggiore splendore quando si trovi nel piano *sr*O qualcheduna delle linee *ef*, *gh*, che dividono per metà gli angoli retti fatti dalle altre due *ab*, *cd*. Queste linee *ab*, *cd* furono chiamate da qualche fisico gli *assi neutri* della lamina cristallizzata e le altre *ef*, *gh* gli *assi di spolarizzazione*, in quanto che per questi e non pei primi la lamina leva la polarità al fascio luminoso *sr*. Gli assi neutri corrispondono a dir vero l'uno alla sezione principale e l'altro alla sezione perpendicolare della lamina bifrangente (§. 839). Biot inoltre ha chiamata *polarizzazione mobile* l'effetto di tali lamine per distinguerla dall'ordinaria, cui dà il nome di *polarizzazione fissa*.

861. Per meglio osservare e definire i diversi periodi di colorazione conviene servirsi dell'apparato per la polarizzazione superiormente descritto (§. 845) e rappresentato nella fig. 115. All'estremità L si applica la lastra inclinata sotto l'angolo per polarizzare colla riflessione compiutamente il fascio luminoso, e tenuta dagli appositi sostegni ad una certa distanza dall'estremità L. Allo scopo di polarizzare la luce per rifrazione (§. 843) serve la pila di lastre riunite nell'apposita incassatura (fig. 117), per mezzo della quale si congiungono al tubo dalla parte L (fig. 115). Alla parte opposta O si colloca l'altra lastra di vetro per ricevere la luce polarizzata (fig. 119). Essendo la periferia del tubo (fig. 115) alle estremità divisa in gradi, questi servono per disporre i due congegni all'azimuto che si desidera; e nel nostro caso, trovandosi l'indice del tamburo della lamina polarizzatrice sulla divisione 90°, quello della lastra analizzatrice si pone sulla divisione zero. Assicurandosi se comparisca la macchia nera e se i due congegni estremi siano ben disposti per l'osservazione, s'interpone ad essi la sottile lamina di solfato calcare o di mica assettata nel telaio della fig. 118, introducendola nell'anello, che sostiene le verghette della lamina polarizzatrice (fig. 115). Assestato in tal modo l'apparecchio non si ha altro che a far girare il

tamburo della lastra analizzatrice o quello della lamina cristallizzata, nel quale movimento si osservano i fenomeni seguenti:

Quando dunque la sezione principale della lamina interposta, o quella che le è perpendicolare, corrisponde al piano di polarizzazione primitiva, mentre quello di polarizzazione della seconda lastra risulta normale al primo piano medesimo, in questo caso non si vedono colori e si scorge la macchia nera come se la lamina interposta non esistesse. Partendo da questa posizione, per poco che si faccia girare nel suo piano la lamina interposta apparisce dessa tosto colorata, e dopo la rotazione di 45° il colore ha acquistato la massima vivacità. Continuando la rotazione, l'intensità del colore vien meno e dopo altri 45° ritorna l'abbuiamento. Gli stessi fenomeni si ripetono ad ogni quarto di rivoluzione, e il colore si riproduce conservandosi della medesima specie.

Riteniamo la lamina interposta nel punto in cui il colore mostra il massimo splendore e che quello comparso sia, per es., rosso, e si faccia girare la lastra analizzatrice conservandole sempre la stessa inclinazione di 56°. 45′ per rapporto al raggio che cade su di essa. A misura che essa si discosta da questa posizione, il colore diminuisce in intensità, ed a 45° è scomparso vedendosi soltanto la macchia nera. Seguitando la rotazione incomincia a mostrarsi un colore verde debole, che si rinvigorisce sempre più ed acquista il maggiore splendore quando la rotazione ha percorso 90°. Al di là di 90° ritorna a diventare pallido ed a 135° è del tutto sparito; dopo di che ritorna il rosso il quale aumenta in vivacità sino a 180°. Si ripetono i medesimi cambiamenti colle stesse fasi progredendo a far girare la lastra analizzatrice dai 180° sino al compimento dell'intiera periferia a 360°, dove la lamina medesima si trova nella primitiva posizione.

Da queste osservazioni si apprende che quando gira soltanto la lamina interposta non si vede che un colore, il quale si abbuia e ricomparisce in ogni rotazione di 45°, mentre quando gira la lastra analizzatrice ne compariscono due. Se si esperimenta con lamine cristallizzate di differenti grossezze, che danno differenti colori, si trova che i due colori mostrati dalla stessa lamina sono sempre l'uno *complementario* dell'altro, vale a dire che mescolati assieme formano la luce bianca.

862. Si può prendere per analizzatore, invece della lastra di vetro, qualche altro di quelli fatti conoscere (§. 846), Se si riceve il fascio luminoso polarizzato, che ha attraversato la lamina cristallizzata interposta, sopra un prisma di spato islandico di abbastanza

grossezza per separare le due imagini, l'una di esse prende un colore e l'altra il colore complementario della prima, e nel caso precedente l'una rossa e l'altra verde. Trovandosi la sezione principale del prisma nel piano di riflessione *srO* (fig. 120) o perpendicolare al piano di polarizzazione primitiva S*sr*, e la lamina cristallizzata interposta con un suo asse neutro parallelo o perpendicolare allo stesso piano S*sr*; non si ha verun effetto di colorazione, ossia si vede una sola imagine bianca, che è l'ordinaria. Ma facendo girare il tamburo della lamina, compariscono le due imagini colorate, e quando ha percorso 45° l'imagine ordinaria è d'un rosso brillante e la straordinaria d'un verde brillante. In questo caso la sezione principale della lamina cristallizzata fa un angolo semiretto col piano di polarizzazione primitiva. Continuando la rotazione, una delle imagini s'illanguidisce, e dopo altri 45° ossia dopo 90° dalla prima posizione essa s'abbuia e l'altra imagine diventa bianca, ed è la straordinaria. Proseguendo a far girare la lamina interposta, ad ogni quadrante di rivoluzione le imagini divengono colorate, e poscia l'una s'abbuia e l'altra diventa bianca alternativamente.

Ma si ritenga la lamina cristallizzata nella posizione, che dà alle due imagini i più bei colori, l'uno rosso e l'altro verde, e si faccia ruotare il prisma di spato calcare per l'intiera periferia. Si osserva che a 45° le due imagini diventano bianche; a 90° quella ordinaria, che era rossa, diventa verde, e la straordinaria, che aveva il color verde, ha acquistato il color rosso. Le due imagini ricompariscono ancora bianche a 135°, a 225° ed a 315°; mentre a 180°, a 270° ed a 360° l'una è rossa e l'altra verde, essendo rossa nel primo caso l'ordinaria e verde la straordinaria, e nelle seguenti posizioni scambiandosi esse i colori.

Se il prisma ha una mediocre grossezza, le due imagini si sovrappongono in parte verso i loro orli, e si osserva che nelle parti sovrapposte hanno perduto i loro rispettivi colori, formando la luce bianca. È questa la prova che i colori sono complementari l'uno dell'altro.

863. Come analizzatore serve anche la lamina di tormalina. In una posizione questo minerale assorbe il verde e lascia passare il rosso, in un'altra esso assorbe il rosso e trasmette il raggio verde, l'uno e l'altro polarizzati in piani fra loro perpendicolari. Queste posizioni si determinano facilmente secondo quanto si è detto precedentemente per la lastra di vetro e il prisma di spato islandico, adoperati come analizzatori; e secondo i piani di polarizzazione della tormalina relativamente ai due mezzi medesimi (§. 846).

Si può altresì fare l'analisi con un cumulo di lastre di vetro, il quale, essendo capace di polarizzare (§.843), serve eziandio ad analizzare per la ragione che tutti i mezzi polarizzatori sono anche analizzatori (§. 846). In una posizione il cumulo di lastre di vetro, assestato come nella fig. 117 ed applicato al tubo dell'apparecchio (fig. 115), trasmette il rosso e riflette il verde, e in altra posizione succede all'inverso riflettendo il rosso e trasmettendo il verde.

864. Si notò che i colori complementari, che si mostrano colla luce polarizzata nell'attraversare le lamine cristallizzate, variano al variare la grossezza di queste lamine (§. 861). Biot, che ha intrapreso un gran numero d'esperienze su questi fenomeni (1), ha trovato che i colori variano non solo secondo la grossezza della lamina, ma eziandio secondo la natura della medesima, offrendo però ciascuna lamina le stesse leggi e i medesimi periodi di colori. Egli ha trovato, per es., che, per conseguire colori simili, una lamina di cristallo d'Islanda deve avere una grossezza quasi 18 volte minore di quelle di solfato calcare o di cristallo di monte (2). Lo stesso fisico, studiando i colori che si avevano con lamine della medesima materia e di differenti grossezze, ha potuto riconoscere che queste grossezze, prese per un dato valor assoluto nel rapporto dei numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, presentano i medesimi ordini di colori come negli anelli colorati di Newton (§. 828). Stabilendo perciò la grossezza assoluta d'una lamina cristallizzata d'una data materia affine di conseguire un colore determinato, si trova qual colore si avrà con una lamina della medesima materia di diversa grossezza.

Se si formi un cuneo di solfato calcare, le cui grossezze variano da millim. 0,0315 a millim. 0,4618, si ottengono contemporaneamente tutti i colori degli anelli di Newton in istriscie parallele.

865. Per farsi un'idea del modo con cui avvengono i fenomeni suddescritti, si collochi l'occhio fra l'analizzatore e la lamina cristallizzata, e si vedrà che la luce trasmessa dalla medesima è bianca qualunque ne sia la posizione. Dunque la lastra di vetro nel primo sperimento (§. 861) separa nella riflessione la luce bianca nei suoi colori, disposta però sotto l'angolo polarizzante. Si osservi che il solfato calcare e la mica sono cristalli bifrangenti ed uno dei suoi assi *ab* (fig. 120) corrisponde alla sezione principale del cristallo, mentre *cd*

(1) Si vegga il suo *Traité de physique expérimentale et mathématique*, t. IV, pag. 317 e seguenti.

(2) Opera citata, pag. 361.

fa parte di quella perpendicolare; per le quali due sezioni la luce attraversa il cristallo conservandosi nel piano d'incidenza (§. 835). Ora, se una di queste sezioni si trova nel piano di polarizzazione di un raggio luminoso polarizzato, questo raggio passa pel cristallo senza essere bipartito (§. 841). Dunque in queste due posizioni la lamina cristallizzata conserva il raggio luminoso intiero. E siccome il piano di polarizzazione di questo raggio è perpendicolare a quello di riflessione della lastra di vetro analizzatrice, così esso non è riflesso dalla lastra medesima (§. 846). In ogni altra posizione della lamina cristallizzata il raggio è diviso in due parti generalmente di diversa intensità (§. 841), che diventano eguali soltanto nel caso che il piano di polarizzazione faccia un angolo semiretto colla sezione principale o con quella ad essa perpendicolare. Inoltre queste due porzioni del raggio sono polarizzate in piani opposti, l'una nel piano della polarizzazione primitiva e l'altra nel piano perpendicolare (§. 847. Le due imagini poi, secondo il calcolo, sono prodotte da tali vibrazioni che, mentre l'una nei suoi moti produce la sensazione del rosso, l'altra produce quella del verde (§. 858). Il raggio verde infine, essendo polarizzato nel piano della polarizzazione primitiva S*sr* (fig. 120), non è riflesso dalla lastra di vetro, mentre quello rosso, essendo polarizzato perpendicolarmente a questo piano, è atto a subire la riflessione e per conseguenza giunge all'occhio, al quale imprime la sensazione del colore rosso. Ragionando in somigliante maniera si comprende che facendo ruotare la lastra di vetro per un arco di 90°, essa non può più riflettere il rosso, mentre diventa capace a riflettere il verde verso l'occhio. Dunque in ogni caso la lastra di vetro analizza il fascio di luce bianca trasmesso per la lamina cristallizzata di solfato calcare, riflettendone la metà polarizzata nel suo piano di riflessione ed assorbendo l'altra metà polarizzata nel piano a questo perpendicolare.

Si osservi altresì che il fenomeno della colorazione si ottiene soltanto quando la lamina cristallizzata bifrangente è molto sottile, perchè in questo caso fra i due raggi bipartiti dalla lamina stessa non vi ha una separazione sensibile. I due raggi però presentandosi alla lastra di vetro analizzatrice sono divisi, essendo l'uno assorbito e l'altro riflesso secondo le leggi della polarizzazione. L'intensità poi che una delle imagini acquista a scapito dell'altra a misura che nella rotazione varia l'angolo $a$ dell'azimuto dei due piani di polarizzazione, trova la ragione nei rispettivi valori delle intensità medesime, le quali sono rispettivamente rappresentate da $q = m \cos.^2 a$, $q' = m \operatorname{sen.}^2 a$ (§. 853), dove $m$ è l'intensità del raggio incidente. Si in-

tende anche che, quando $a$ è eguale a $\frac{1}{2}$ retto, le imagini sono eguali perchè allora si ha $q = \frac{1}{2}\, m$, $q' = \frac{1}{2}\, m$. Valgono le stesse considerazioni, allorquando si adopera come analizzatore qualcheduno degli altri mezzi, eccetto che quand'esso è un prisma bifrangente ciascun raggio è separato in due, e l'intensità della luce del raggio incidente si suddivide in quattro, dove l'aumento di quelle delle une è a scapito delle altre intensità, come nell'esperimento dei due romboidi sovrapposti (§. 841).

866. Colla luce polarizzata si ottengono degli effetti cromatici ancor più brillanti dei precedenti, servendosi di cristalli di maggior grossezza tagliati nella maniera che andiamo a descrivere. Questi fenomeni appartengono alla stessa categoria, ma essi si presentano intorno agli assi dei cristalli sotto l'apparenza di anelli, che hanno molta somiglianza con quelli manifestati dalla diffrazione (§. 828).

Incominciamo dai cristalli ad un sol asse e prendiamo un rombo di spato islandico, al quale si levano gli angoli ottusi $d$, $e$, formando due superficie piane e pulite perpendicolari all'asse di doppia rifrazione $de$ (fig. 107). Il cristallo così preparato si disponga a ricevere il fascio di luce polarizzata $sr$ (fig. 120), in modo che questa luce passi prossima all'asse del cristallo medesimo posto ad una piccolissima distanza dalla lastra analizzatrice B. Allorquando si colloca l'occhio molto vicino a B e si guarda lungo $Or$ l'imagine della luce trasmessa dal cristallo, si vedono lungo l'asse del medesimo una serie brillante di anelli colorati, disposti come nella fig. 121, intersecati da una *croce nera*, le cui braccia s'incontrano ad angolo retto al centro degli anelli. Se si fa girare il cristallo intorno al suo asse, gli anelli non provano verun cambiamento. Ma tenendo fisso il cristallo e facendo invece girare la lastra analizzatrice, si vede un altro sistema d'anelli colorati come quello della fig. 122, ove la croce nera si è cambiata in una *croce bianca* e tutti i colori sono complementari di quelli della fig. 121. I primi sono simili agli anelli veduti per riflessione nelle sperienze della diffrazione, ed i secondi a quelli che appariscono per trasmissione (§. 828). La sovrapposizione dei due sistemi d'anelli produrrebbe adunque la luce bianca.

867. Se per mezzo analizzatore si adopera un rombo di cristallo islandico di tale grossezza da separare compiutamente le due imagini, si vede il primo sistema d'anelli nell'imagine del raggio ordinario e il secondo in quella del raggio straordinario, allorquando la sezione

principale del cristallo è posta nel piano $srO$ perpendicolare a quello di polarizzazione (fig. 120).

Il primo sistema d'anelli è polarizzato in un piano opposto a quello in cui si forma il secondo, per cui si può disperdere l'uno di essi per mezzo d'una lamina d'agata od assorbirlo mediante una lamina di tormalina, e rendere così soltanto l'altro visibile ed isolato (§. 844). Si è costrutto perciò da Herschel un apparecchio molto comodo per queste sperienze servendosi per corpo analizzatore d'una lamina di tormalina e per mezzo polarizzatore pure d'una lamina della stessa materia. L'apparecchio in discorso si compone di due tubi d'ottone TT, *tt*, che s'introducono e possono girare a sfregamento l'uno nell'altro come quelli d'un cannocchiale (fig. 123). All'estremità di ciascuno di questi tubi è assicurata una lamina di tormalina *a*, *p*, le cui sezioni principali, per mezzo della rotazione dei tubi, si possono disporre inclinate sotto l'angolo che si desidera. Una viera *qq*, girevole circolarmente entro il tubo TT mediante il manubrio *m* mobile entro la fenditura apposita fatta nel tubo medesimo, porta il cristallo interposto C. Infine in L è applicata una lente a certa distanza focale o un vetro smerigliato, secondo che si vuole operare colla luce solare ed ottenere gli anelli colorati sopra un piano posto ad una distanza conveniente nella camera nera, oppure colla luce diffusa per osservarli direttamente coll'occhio applicato alla lamina di tormalina analizzatrice *a*.

Allorquando alla viera *qq* non vi è applicato il cristallo C, osservando per la lamina di tormalina *a* il campo è illuminato od oscuro secondo che le due tormaline hanno le loro sezioni principali parallele o perpendicolari fra loro (§§. 846 e 847) S'interponga ora il cristallo C con l'asse ottico prossimamente nella direzione dell'asse dello strumento. Se le tormaline hanno le loro sezioni principali perpendicolari si hanno gli anelli della fig. 121, e se sono parallele, quelli della fig. 122.

Nella camera nera si possono coll'apparecchio descritto rendere ad un tempo manifesti a parecchie persone gli anelli colorati. Si espone a tal fine l'apparechio ad un fascio di luce solare, il quale è trasmesso riunito dalla lente L sulla tormalina polarizzatrice *p*: attraversando poscia il cristallo C e la tormalina analizzatrice *a*, giunge a dipingere sopra uno scrimaglio bianco il sistema degli anelli colorati.

868. Servendosi di luce omogenea invece di quella bianca, si trova che gli anelli più piccoli nascono col colore rosso e i più grandi con quello violaceo, essendo di grandezza intermedia gli anelli prodotti

dagli altri colori. In ognuno di questi casi gli anelli conservano il medesimo colore della luce polarizzata e sono separati da intervalli neri. Misurando i diametri degli anelli e la grossezza del cristallo, si è trovato per la medesima distanza dell'occhio, che: 1° *per uno stesso cristallo i quadrati dei diametri degli anelli di diversi ordini seguono la ragione dei numeri* 1, 2, 3, 4 *ecc.*; 2° *nelle lamine di diverse grossezze e della stessa materia i quadrati dei diametri degli anelli del medesimo ordine sono inversamente come le radici quadrate delle grossezze dei cristalli.*

In generale i cristalli, che hanno un asse di doppia rifrazione, presentano somiglianti sistemi d'anelli lungo l'asse medesimo. I cristalli di spato islandico della grossezza di alcuni millimetri e ben anche di 2 in 3 centimetri danno degli anelli assai regolari. Herschel e Brewster hanno fatto parecchie sperienze sugli anelli colorati prodotti dai cristalli ad un sol asse. L'uno dei fenomeni più interessanti di questo genere è presentato dall'iposolfato di calce e da certe varietà di apofilite, principalmente da quelle che si traggono dal Tirolo. Gli anelli dell'apofilite non hanno quasi altre tinte che una serie di giallo verdognolo e di violaceo rossiccio.

Osservisi altresì che i sistemi d'anelli prodotti dai cristalli positivi, come il ghiaccio, lo zirconio (§. 833), quantunque all'occhio non differiscano da quelli dei cristalli negativi, come lo spato islandico, posseggono però delle proprietà differenti. Combinando assieme un sistema d'anelli formati, per es., dallo zirconio con un sistema di anelli dello stesso diametro formati dallo spato calcare, si trova che i due sistemi si distruggono. Accoppiando due lamine di cristalli negativi, per es., di spato calcare e pietra d'alume, esse forniscono un sistema d'anelli simile a quello che formano due lamine di spato calcare, di cui l'una sia la lamina impiegata e l'altra quella che dà i medesimi anelli della lamina di pietra d'alume. Ma se si accoppia un cristallo negativo con uno positivo, come lo spato calcare collo zirconio, ne risulta un sistema d'anelli prodotto non dalla somma ma dalla differenza delle loro azioni separate.

Se, alle lamine di due cristalli positivi o negativi, oppure l'uno positivo e l'altro negativo, che producono due sistemi d'anelli, s'interpongono degli strati di solfato calcare o di mica, si ottengono cangiamenti i più brillanti nella forma e nel colore degli anelli. Brewster ha trovato che quest'esperienza riusciva in particolar modo brillante, quando lo strato era posto fra due lamine di spato calcare della stessa grossezza e prese dal medesimo cristallo. Rendendole fisse colle loro

facce parallele, e lasciando fra esse uno spazio per introdurvi lo strato cristallino, egli ottenne un apparecchio col quale si producevano i fenomeni i più brillanti. Gli anelli però non erano euritmetrici intorno all'asse; ma avevano la più bella varietà di forma durante la rotazione delle lamine così accoppiate, il che dipende dalle leggi generali della doppia rifrazione e della polarizzazione.

Herschel ha determinato l'intensità di polarizzazione di diversi cristalli ad un sol asse che noi qui riportiamo:

*Intensità di polarizzazione di alcuni cristalli ad un sol asse.*

| CRISTALLI | VALORE del colore più elevato | GROSSEZZE per produrre il medesimo colore |
|---|---|---|
| Spato d'Islanda . . | 35801 | millim. 0,000711 |
| Idrato di stronziana . | 1246 | « 0,020371 |
| Tormalina . . . . | 851 | « 0,029845 |
| Iposolfato di calce . | 470 | « 0,054077 |
| Quarzo . . . . . | 312 | « 0,076810 |
| Apofilite 1ª varietà . | 109 | « 0,232410 |
| Id. 2ª varietà . | 33 | « 0,771500 |
| Id. 3ª varietà . | 3 | « 9,312148 |
| Canfora . . . . . | 101 | « 0,250342 |

I valori si riferiscono alla luce gialla, ed i numeri della terza colonna mostrano i rapporti delle grossezze dei differenti cristalli per ottenere la medesima tinta. Lo spato d'Islanda ha perpendicolarmente all'asse una forza polarizzante talmente grande, che è quasi impossibile di prepararne uno strato abbastanza sottile per averne i colori, che si ottengono negli sperimenti di diffrazione (§. 828).

869. Si è creduto per molto tempo che tutti i cristalli non fossero dotati che d'un solo asse ottico di doppia rifrazione; ma i fenomeni cromatici di polarizzazione hanno fatto scoprire che si danno cri-

stalli dotati di due assi ottici ed hanno condotto alle sperienze di doppia rifrazione altrove riportata (§. 833).

I cristalli a due assi manifestano un doppio sistema d'anelli colorati. Si presentarono a Brewster nel topazio, da cui sospettò l'esistenza in questo minerale di due assi ottici di doppia rifrazione. Nel topazio, come in parecchi altri cristalli di questa specie, gli assi di doppia rifrazione fanno un angolo troppo grande per vedere contemporaneamente i due sistemi d'anelli. Il *nitro* però o *nitrato di potassa* e la *glauberite* gli hanno poco inclinati, essendo l'angolo che fanno gli assi della prima materia di poco più di 5° e quello della seconda di 2 in 3 gradi (§. 834); per cui essi si prestano alla produzione del fenomeno.

Il cristallo del nitro ha la forma secondaria di prisma esagonale, e ciascuno dei due assi di doppia rifrazione è inclinato coll'asse cristallografico di circa gradi $2\frac{1}{2}$. Da un cristallo di nitro si distacchi un pezzo con un coltello percosso da un martello, si puliscano due superficie piane perpendicolari all'asse del prisma, in maniera d'averlo della grossezza di 3 in 4 millimetri e si trasmetta un fascio di luce polarizzata lungo l'asse medesimo, servendosi dell'apparecchio descritto (§. 867): si vede il doppio sistema d'anelli rappresentato nella fig. 124, quando il piano che passa per gli assi ottici del cristallo prismatico è perpendicolare alla sezione principale della tormalina analizzatrice *a* (fig. 123), la quale è incrociata ad angolo retto colla sezione di quella polarizzatrice *p*. Gli anelli si mostrano con brillanti colori regolarmente disposti e di figura ovale. Ciascuno dei due sistemi ha il suo centro, e il loro complesso presenta due striscie oscure normali fra loro, l'una delle quali passa pei centri dei due sistemi. Girando un poco il piccolo cristallo di nitro intorno al suo asse, la croce oscura incomincia ad essere deformata e prende l'aspetto della fig. 125. Colla rotazione di $22°.\frac{1}{2}$ il doppio sistema si presenta sotto la fig. 126, e con quella di 45° sotto la fig. 127. Proseguendo la rotazione per un altro angolo semiretto si riproducono in ordine inverso le stesse apparenze, e in ogni quadrante si ripetono le medesime successioni del doppio sistema di anelli colorati. Essendo le due tormaline disposte colle loro sezioni principali parallele, le apparenze degli anelli sono complementarie di quelle dei precedenti, vale a dire che alle striscie oscure si sostituiscono delle bianche, e ad ogni colore degli anelli si pre-

senta il complementario ossia quello, che, mescolato col precedente, formerebbe il bianco.

Diminuendo la grossezza del cristallo di nitro, il diametro degli anelli aumenta in grandezza e quelli del quinto, quarto ordine ecc. giungono a contornare ambidue i centri; talchè, dando al cristallo una certa sottigliezza, tutti gli anelli contornano i centri e il sistema degli anelli rassomiglia molto a quello dei cristalli ad un asse. Se si aumenta la grossezza del nitro, gli anelli diminuiscono in grandezza. In generale il colore degli anelli è rosso verso i centri ed azzurro al di fuori di essi: la tinta principale degli anelli è di colore rosa e verde.

Il doppio sistema di anelli si ottiene anche dipinto sopra un piano bianco nello stesso modo del sistema prodotto dai cristalli ad un asse (§. 867). In questo caso si possono designare le linee, che comprendono egual colore o *isocromatiche*, che Herschel ha trovato essere altrettante curve conosciute dai geometri sotto il nome di *lemniscate*, mentre negli anelli dei cristalli ad un sol asse le curve stesse sono altrettanti *circoli*.

Impiegando la luce omogenea, gli anelli sono formati da curve brillanti dello stesso colore del fascio incidente, separate da intervalli oscuri. La differenza dei diametri degli anelli, prodotti dalle luci di diverso colore, non è molto grande. Vi sono però dei cristalli, come quelli di *soda* e di *tartrato di potassa*, che danno degli anelli di grandezza molto differente, il maggiore essendo nel rosso e il più piccolo nel violaceo. Herschel trovò dei cristalli, in cui gli anelli più piccoli erano formati dal color rosso e i più grandi da quello violaceo.

870. Abbiamo veduto che, quando i due assi ottici del cristallo fanno un angolo di una certa grandezza, come nel *topazio* e nel *solfato di ferro*, non si può vedere che un sistema d'anelli per volta. Si preparano questi cristalli tagliandone dei pezzi ed appianando e pulendo due facce parallele perpendicolari a ciascun asse ottico; e si esperimenta con essi facendo cadere la luce polarizzata lungo un asse e poscia lungo l'altro per osservare i due sistemi di anelli.

Si è detto che gli anelli colorati prodotti dalla luce polarizzata hanno condotto alla scoperta dei cristalli dotati di due assi ottici. Ora facciamo conoscere come si determina l'inclinazione dei due assi medesimi, osservando separatamente ciascun sistema.

Sia MN una lamina d'un cristallo a due assi, per es., di topazio tagliato e lavorato in maniera che le due facce siano perpendicolari alla linea $pq$, che passa per l'asse cristallografico (fig. 128). Si collo-

chi questa lamina nell'apparecchio descritto (§. 867), cercando la posizione in cui il raggio polarizzato *ac* passi attraverso il cristallo pel cammino *acde* e produca un sistema d'anelli colorati come quello rappresentato nella fig. 129. Nella stessa maniera si cerca, dalla parte opposta dell'asse cristallografico, la posizione, in cui la luce polarizzata, prendendo il cammino *bcgf* (fig. 128), produca un altro sistema perfettamente simile al precedente. È chiaro che le linee *cd*, *cg* indicheranno le direzioni dei due assi ottici del topazio. Misurando l'angolo esterno *acb*, si trova nel nostro caso di 120°. 16′. Ora se si calcolano gli angoli di rifrazione delle due linee *cd*, *cg* colla nota legge (§. 770), si determina l'angolo *dcg*, che nel nostro caso è di 65°, e che è l'inclinazione dei due assi ottici del cristallo.

Herschel ha dato la tavola seguente dell'intensità di polarizzazione di alcuni cristalli a due assi.

*Intensità di polarizzazione di alcuni cristalli a due assi.*

| CRISTALLI | INCLINAZIONE degli assi | VALORE del colore il più elevato | GROSSEZZE che producono il medesimo colore |
|---|---|---|---|
| Nitrato di potassa . | 5°. 20′ | 7400 | millim. 0,003429 |
| Anidrite . . . . | 43. 48 | 1900 | « 0,013360 |
| Mica . . . . . | 45. — | 1307 | « 0,019431 |
| Solfato di barite . | 37. 42 | 521 | « 0,048768 |
| Eulandite (bianca) . | 54. 17 | 249 | « 0,102133 |

I valori si riferiscono, come quelli dei cristalli ad un sol asse, alla luce gialla, e i numeri della terza colonna danno i rapporti delle grossezze dei differenti cristalli per ottenere la medesima tinta.

871. L'*analcima* è un cristallo che possiede più di due assi polarizzanti. La forma la più comune di questo minerale è quella d'icositetraedro, che è conterminato da 24 trapezi eguali e simili. Trasmettendo successivamente la luce polarizzata in ciascuna direzione attraverso l'analcima, presenta una serie di tinte, che Brewster ha

rappresentato in A, B della fig. 130. La doppia rifrazione è abbastanza grande per separare distintamente le imagini, allorquando il raggio incidente passa per due qualunque dei quattro piani adiacenti ai tre assi del solido. Nella figura i colori sono rappresentati da linee leggermente ombreggiate, che partono dai piani per dove non ha luogo la doppia rifrazione. Questo minerale non si elettrizza per istropicciamento.

Un altro minerale rimarchevole per le sue proprietà ottiche è il *crisamato di potassa,* il quale cristallizza in piccolissime lamine rombiche e presenta il lustro metallico dell'oro. Quando la luce solare viene trasmessa attraverso queste lamine, prende un colore giallo-rossiccio ed è intieramente polarizzata in un sol piano. Se i cristalli del crisamato si comprimono colla lama d'un coltello sopra una lastra di vetro, essi spandonsi a guisa d'amalgama. La luce che attraversa gli strati i più sottili, si divide in due raggi con polarizzazione opposta, l'uno d'un vivo color rosso carminio e l'altro giallo pallido; mentre quella che passa per gli strati più grossi conserva in entrambi i raggi il color rosso carminio. La luce riflessa da questi cristalli sotto l'incidenza zero o perpendicolare ha il colore d'oro vergine, ed a misura che cresce l'angolo d'incidenza, il giallo va diminuendo, finchè sotto grandi incidenze il colore diviene bianco pallido azzurrognolo. Il fascio riflesso in questo modo consta di due raggi luminosi polarizzati in verso opposto: l'uno nel piano di riflessione di color pallido azzurrognolo, e l'altro nel piano normale al medesimo del colore giallo d'oro sotto piccole incidenze, al crescere delle quali passa successivamente al giallo carico, al verde, all'azzurro verdognolo, all'azzurro ed al colore di garofano. Brewster si è assicurato che questa proprietà singolare non dipende da ossidazione formatasi sulla superficie dei cristalli nè da altra modificazione prodotta sulla medesima da cause esterne. Brewster sostiene che questi fenomeni sono dovuti all'azione del minerale sulla luce, indipendentemente dal principio delle interferenze, su di che è contraddetto da Herschel (1).

872. Gli anelli colorati che si osservano con un cristallo bifrangente interposto a due lamine di tormalina, l'una delle quali serve a polarizzare e l'altra ad analizzare la luce, presentano per qualche cristallo una singolarità, la quale fu osservata la prima volta da Arago col quarzo o cristallo di monte. Esaminando infatti il sistema d'anelli

(1) Per le proprietà ottiche di questo minerale si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIX, pag. 115.

prodotto dal quarzo, le cui superficie sono perpendicolari all'asse, si trova che la croce nera, mostrata da altri cristalli quando le sezioni principali delle due lamine di tormalina sono ad angolo retto, svanisce e comparisce invece all'intorno una tinta uniforme di rosso, di verde o d'azzurro secondo la grossezza del cristallo, e il sistema di anelli prende la forma rappresentata nella fig. 131. Dando al cristallo di monte un movimento di rotazione intorno al proprio asse, non cambia l'apparenza della tinta che si presenta. Ma se invece si fa girare una delle tormaline, portando la sua sezione principale sotto inclinazioni sempre minori dell'angolo retto colla sezione principale dell'altra lamina, compariscono successivamente i colori prismatici; talchè, se il primo era rosso, questo si cambia successivamente durante la rotazione in aranciato, giallo, verde e infine in violaceo.

La comparsa della luce nel mezzo degli anelli, quando le tormaline sono disposte colle loro sezioni principali ad angolo retto, nel transitare lungo l'asse ottico del cristallo intermedio, mostra che si è cambiato il piano di polarizzazione del raggio luminoso, e che quindi il cristallo di monte ha la proprietà di far ruotare il piano medesimo. Biot verificò poscia con parecchie esperienze questo cambiamento di posizione prodotto dal quarzo nel piano di polarizzazione, ed osservò che un tale cambiamento era proporzionale alla grossezza del cristallo, avendo trovato che, per un cristallo di monte della grossezza di un millimetro, la rotazione del piano di polarizzazione intorno all'asse del cristallo era di 18°. 25′, vale a dire che il piano di polarizzazione del raggio luminoso emergente dal cristallo era inclinato, col piano di polarizzazione primitiva o del raggio incidente, di un angolo di 18°. 25′; e che questa rotazione aumentava o diminuiva nel rapporto della grossezza del cristallo medesimo. Abbiamo già detto che una tale rotazione è stata distinta col nome di *polarizzazione circolare* (§. 848).

Sostituendo alle due lamine di tormalina prismi di Nicol formati con romboidi di spato calcare, si ha l'apparato precedentemente descritto (§. 848), col quale si è veduto che alcuni liquidi sono pure dotati della proprietà di far ruotare il piano di polarizzazione, ed è perciò che in quegli sperimenti si hanno apparenze di colorazione. Si è scoperto altresì che la rotazione del piano di polarizzazione non si fa sempre nello stesso verso, essendovi alcune materie che lo fanno girare da sinistra a destra ed altre da destra a sinistra. Alcune specie di quarzo lo rivolgono in un verso, ed altre in verso contrario. Lo stesso fenomeno è stato riscontrato da Brewster nell'ametista. Ecco

alcune di queste materie, delle quali Biot dà l'arco di rotazione per la grossezza d'un millimetro.

*Materie che fanno ruotare il piano di polarizzazione.*

| MATERIE | ARCO di rotazione da sinistra a destra | ARCO di rotazione da destra a sinistra | GROSSEZZE relative per avere l'egual colore |
|---|---|---|---|
| Cristallo di rocca . . | 18°. 24'. 50'',4 | 18°. 24'. 50'',4 | 1. |
| Olio essenziale di cedro | — — | 0. 26. 9,6 | 38. |
| Siroppo concentrato di zucchero . . . . | — — | 0. 33. 14,4 | $4\frac{1}{2}$. |
| Olio di trementina . . | 0. 16. 12,0 | — — | $68\frac{1}{2}$. |
| Soluzione di 1753 parti di canfora in 17339 d'alcoole . . . . | 0. 1. 4,8 | — — | — — |

I valori precedenti dell'arco di rotazione si riferiscono al raggio rosso; giacchè si è riconosciuto che la quantità di rotazione varia secondo la specie di luce colorata, essendo per la stessa materia minima nel raggio rosso e massima in quello violaceo. Il quarzo, per es., della grossezza d'un millimetro, produce la rotazione nel rosso estremo di 17°. 29'. 47'', mentre nel violaceo estremo è di 44°. 4'. 58''.

873. Parlando della rotazione del piano di polarizzazione, abbiamo altrove riferito (§. 848) come dalla teorica delle ondulazioni siasi tratto il nome di *polarizzazione circolare*, cui appartengono i fenomeni del precedente paragrafo, per distinguerla dall'ordinaria denominata *polarizzazione rettilinea*. Abbiamo altresì mostrato in qual caso si ha la *polarizzazione elittica*, la quale, al pari della prima, dà nascimento a fenomeni di colorazione. Questi ultimi ottengonsi per riflessione dai metalli. Allorquando il piano di riflessione delle lastre metalliche è parallelo o perpendicolare al piano di polarizzazione di

un raggio luminoso diretto sulle medesime, la luce è riflessa senza ricevere altra modificazione particolare, eccetto quella dipendente dalla proprietà dei metalli di polarizzarla alla maniera comune (§.855). In ogni altra posizione però del piano di riflessione relativamente a quello del raggio polarizzato incidente, questo raggio subisce delle modificazioni nei suoi movimenti vibratorii, e si manifesta con apparenze di colorazione.

Brewster ha esperimentato che, servendosi di lastre d'oro o d'argento, si vedono nella riflessione colla luce previamente polarizzata i colori complementari i più brillanti nelle imagini, ordinaria e straordinaria, prodotte dal prisma bifrangente, che serve ad analizzarla. Questi colori variano secondo l'angolo d'incidenza ed il numero delle riflessioni sulle lastre metalliche, ed acquistano il maggiore splendore quando il piano di polarizzazione è inclinato di 45° relativamente a quello d'incidenza, e spariscono quando l'inclinazione è di zero o di 90 gradi. Tutti gli altri metalli, nominati al principio del paragrafo 855, danno dei colori analoghi; ma i più brillanti sono quelli che si hanno adoperando l'argento, e il loro splendore va diminuendo dall'argento alla galena.

Si abbia una lastra d'acciaio pulito, sulla quale si faccia cadere un raggio luminoso il cui piano di polarizzazione sia inclinato di 45° con quello di riflessione, e si riceva sotto l'incidenza di 75°, che è l'angolo di polarizzazione massima possibile di quel metallo (§. 855). Si faccia passare il raggio, così riflesso dall'acciaio, lungo l'asse dello spato islandico, e si ha un sistema d'anelli colorati di forma differente della fig. 121, essendosi cangiato in quello della fig. 132.

874. Nella stessa maniera che alcuni corpi acquistano la proprietà di rifrangere doppiamente la luce con mezzi fisici (§. 836) e meccanici (§. 837), si può dare loro la facoltà polarizzante.

Si prenda un cilindro di vetro del diametro di 15 in 20 millimetri ed anche più e di altrettanto di lunghezza, e dopo averlo riscaldato alla circonferenza si trasmetta lungo il suo asse un fascio di luce polarizzata: esaminato il raggio trasmesso con una lastra di vetro nel modo altrove descritto (§. 866) o collo spato islandico (§. 867), si hanno gli stessi anelli colorati rappresentati nelle figg. 121 e 122. Se si copre una certa porzione della superficie piana del cilindro di vetro, si nasconde la parte corrispondente degli anelli, e si ha così una prova ch'esso ha un sol asse di doppia rifrazione corrispondente a quello di figura, come si è veduto altrove (§. 836), e non in tutte le direzioni parallele a quest'asse come è dei cristalli. Esso è ad asse

negativo. Allorquando il calorico è penetrato sino all'asse del cilindro, gli anelli incominciano a perdere del loro splendore, e spariscono del tutto allorchè esso è uniformemente riscaldato in tutta la sua massa.

Se il cilindro è riscaldato uniformemente nell'olio bollente od elevato ad una grande temperatura, e poscia raffreddato prontamente alla superficie (§. 836); esso, attraversato nell'egual modo dalla luce polarizzata, presenta pure il fenomeno degli anelli colorati, ed è ad asse positivo.

Ponendo delle sottilissime lamine di solfato di calce fra le due specie di cilindri, si ottengono dei bellissimi sistemi d'anelli colorati.

Istituendo le due precedenti sperienze con una lastra di vetro di forma ovale, si trova ch'essa nei due casi è dotata di due assi di doppia rifrazione. Ambidue passano pel centro O (fig. 133), e l'asse maggiore della lastra è negativo quando la circonferenza è calda, e negativo quando è fredda. Le curve colorate *mn*, *pq*, prodotte dalla luce polarizzata, corrispondono a quelle nere della fig. 127. L'effetto rappresentato nella fig. 133 è prodotto inclinando l'asse minore di 45° col piano di polarizzazione del raggio luminoso; ma, quando quell'asse è posto nel piano di polarizzazione primitiva od è ad esso perpendicolare, le due curve *mn*, *pq*, si trasformano in una croce nera come nella fig. 124.

In tutte le precedenti sperienze, se il calorico si fosse introdotto per l'asse del cilindro o pel centro della lastra, si avrebbero avuto gli stessi fenomeni, ma gli assi, invece di negativi, sarebbero stati positivi, ed all'inverso quelli positivi negativi.

875. Sottoponendo nello stesso modo alla prova col mezzo del calore un tubo di vetro, esso si trasforma in un cristallo ad un asse e somministra un sistema d'anelli, come nella fig. 134, ed un parallelepipedo di lunghezza tripla della sua larghezza presenta le apparenze della fig. 135. Le curve delle tinte vicine agli angoli sono circolari.

Lastre rettangolari di vetro furono da Brewster sottoposte all'egual prova, e presentarono alla luce polarizzata dei fenomeni cromatici analoghi.

876. Una sfera di vetro, sommersa in olio caldo contenuto in un vaso pure di vetro, presenta un sistema d'anelli colorati prodotto dalla luce polarizzata, che l'attraversa durante il tempo che il calorico penetra nella massa verso il centro, ed un tal sistema è esattamente simile a quello della fig. 121, e non cambia rivolgendo la

sfera in qualunque direzione. Questo fenomeno dimostra che la sfera ha un numero indefinito d'assi positivi di doppia rifrazione, lungo ciascuno dei suoi diametri, come si è altrove veduto (§. 836). Se la sfera di vetro, previamente molto riscaldata, si collochi in un vaso di vetro riempiuto d'olio freddo, si ottiene un sistema simile d'anelli colorati, ma i suoi assi sono negativi.

Sperimentando con isferoidi di vetro nello stesso modo della sfera, si hanno fenomeni analoghi a quelli ottenuti colle lamine ovali della stessa materia (§. 874). Si hanno parecchi fenomeni curiosi della stessa categoria riscaldando e raffreddando tubi e cilindri di vetro lungo i loro assi.

Il vetro fuso e prestamente raffreddato acquista la proprietà permanente della doppia rifrazione e quindi anche quella polarizzante. Si possono formare cilindri, cubi, lastre, sfere, sferoidi di vetro, riscaldare questi corpi al calor rosso e raffreddarli prontamente verso la circonferenza o verso gli orli, ed ottenere così dei corpi doppiamente rifrangenti e polarizzanti la luce. Siccome questi corpi perdono sovente le loro forme durante l'operazione e si alterano nella loro struttura euritmetica; così i sistemi di anelli o frange colorate risultano diversi da quelli ottenuti con un calore moderato.

877. La facoltà polarizzante nei corpi, che ne sono privi, prodotta dalla dilatazione in virtù del calorico o dalla contrazione mediante il raffreddamento, ci fa accorti che si otterranno effetti analoghi con un'azione meccanica qualunque diretta a dilatarli od a comprimerli, tanto più che essi acquistano la facoltà doppiamente rifrangente colla pressione (§. 837). Una lastra di vetro, incurvata con un mezzo qualunque e presentata in una delle maniere descritte alla luce polarizzata coll'orlo convesso inclinato di 45° col piano di polarizzazione, presenta al mezzo analizzatore delle frange colorate composte di un sistema negativo verso la parte convessa o dilatata, e positivo dalla parte concava o condensata, divise da una linea oscura. La lastra aveva poco più di millim. 6 di grossezza e la lunghezza di circa 15 centimetri per poco meno di 4 di larghezza. Comprimendo un vetro mediante viti ed esposto nella stessa maniera alla luce polarizzata, si hanno fenomeni analoghi.

Gli effetti della compressione e della dilatazione per questa specie di esperienze si possono comodamente riscontrare esperimentando con prismi o cilindri di gelatina di vitello o di pesce. Brewster ha esaminato somiglianti fenomeni con un miscuglio di cera bianca e di resina.

La compressione cambia la forma degli anelli colorati nei cristalli già dotati del potere polarizzante, e il cambiamento differisce in quelli positivi dagli altri negativi. Questa proprietà è stata recentemente applicata a riconoscere se i cristalli ad un asse sono positivi o negativi (1).

Coll'induramento si comunica pure la facoltà di doppiamente rifrangere e quindi polarizzare la luce a corpi molli. Allorquando si dissecca della colla di pesce in un vaso circolare di vetro, essa somministra colla luce polarizzata un sistema d'anelli con una croce nera simile a quello dei cristalli negativi ad un sol asse. Se il vaso è ovale, si hanno due assi di doppia rifrazione.

878. Si trovano in natura dei corpi cristallizzati, i quali, veduti in differenti direzioni di contro alla luce naturale da cui sono attraversati, presentano un colore differente. Questa proprietà è chiamata *dicroismo,* parola che dinota appunto due colori. Wollaston l'aveva osservata da molto tempo nel *cloridrato di palladio,* che appariva rosso carico lungo l'asse e verde brillante nella direzione trasversale. Una varietà di *sottossisolfato di ferro* è stata trovata nell'egual modo da Herschel di color rosso di sangue lungo l'asse e verde debole nella direzione perpendicolare all'asse.

Il dicroismo, secondo Brewster, dipende dall'assorbimento della luce (§. 830), e gli effetti che presenta sono regolati dal grado d'incidenza della luce trasmessa, relativamente all'asse di doppia rifrazione, e dalla differenza di colore nei due raggi che ne risultano. In un rombo di *spato islandico di color giallo* egli ha trovato che, lungo l'asse, l'imagine straordinaria era di color giallo-aranciato, mentre quella ordinaria si presentava bianco-giallognola. La differenza del colore e dell'intensità dei due raggi aumentava secondo l'inclinazione. Allorquando le due imagini si ricoprivano, il loro colore combinato si conservava il medesimo sotto qualunque inclinazione dell'asse, ed era quello del cristallo. Esposto il minerale alla luce polarizzata, il suo colore era giallo-aranciato nella posizione in cui scompariva l'imagine ordinaria, e bianco-giallognolo in quella ove era scomparsa l'imagine straordinaria. Brewster dà un elenco di cristalli forniti della proprietà del dicroismo. Lo *zefiro* è verde giallognolo lungo la sezione principale del piano di polarizzazione, ed azzurro in quella perpendicolare; il *rubino* giallo-pallido e color di rosa brillante; una varietà di *smeraldo* era verde-giallognolo e verde-azzurrognolo, mentre

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc., più volte citati, t. III, pag. 156, seconda serie.

un'altra varietà risultò all'inverso verde azzurrognolo e verde giallognolo.

I cristalli a due assi presentano pure il fenomeno in discorso sui due assi ottici o in vicinanza dei medesimi. Esso è brillante nell'*iolite*, detta da Haüy dicroite. Questo minerale, che cristallizza in prismi di 6 e di 12 facce, è azzurro carico lungo l'asse e giallo-bruno nella direzione perpendicolare all'asse cristallografico. Alla luce polarizzata presenta fenomeni cromatici particolari. Il *topazio azzurro* è bianco lungo il piano che passa per quello di polarizzazione, ed azzurro nel piano perpendicolare; l'*acetato di rame*, azzurro e giallo-verdognolo; il *cromato di piombo*, aranciato e rosso di sangue; il *nitrato di rame*, bianco-azzurrognolo ed azzurro.

879. Dopo aver esposto nell'*ottica geometrica* il modo con cui si propaga la luce e le leggi ch'essa segue nelle diverse circostanze, e dopo aver fatti conoscere nell'*ottica fisica* i mirabili effetti e i sorprendenti fenomeni che in se stessa presenta, torna al pensiero di domandare: Quali sono le sorgenti della luce? Donde trae origine un sì meraviglioso agente? Qual è la causa che dà nascimento alle ondulazioni così estremamente celeri con cui si propaga? In qual modo possono le ondulazioni modificate imprimere nel nostro occhio tanti variati e brillanti effetti di colorazione? La scienza non risponde adeguatamente a tutte queste domande, e soltanto c'insegna che la luce è *naturale ed artificiale*: la prima è offerta spontaneamente dai corpi e da alcuni effetti senza sussidio dell'uomo; l'altra viene prodotta e sviluppata per mezzo di qualsiasi preparazione od artifizio combinato dall'umana industria.

La luce del sole, delle stelle fisse e quella di tutti gli astri appartiene alla prima classe, alla quale si riferisce eziandio la luce che manifestano alcuni animali e parecchie sostanze nello stato loro proprio senza alcuna manipolazione. Le lucciole ed altri esseri viventi, i legni fracidi, i pesci in decomposizione ed alcune materie in somigliante stato ne sono altrettanti esempi. Il sole è riguardo a noi la più abbondante sorgente del fluido luminoso; la luna e gli altri pianeti altro non fanno che irradiare per riflessione sulla nostra terra la luce che ricevono da quell'astro, e rattemprano così le tenebre della notte. Le stelle fisse diffondono pure in gran copia nel firmamento la luce, della quale poca quantità giunge sino a noi atteso l'immensa distanza cui esse si trovano dal nostro sistema mondiale. Il sole quindi può essere considerato come l'unico astro destinato a rischiarare il globo che abitiamo. Molti corpi terrestri diventano in certe

circostanze luminosi; ma il chiarore fittizio, ch'essi tramandano, non regge al confronto della brillantissima luce diffusa dal sole. Il lume artificiale e naturale degli altri corpi s'impallidisce e s'eclissa alla presenza di quell'astro; e lo splendore d'una fiaccola diventa nullo quando il sole diffonde i suoi brillanti raggi nelle ore meridiane d'un giorno sereno.

È stato molto discusso sull'origine della luce o della fosforescenza che tramandano le lucciole ed altri animaletti di questa specie. Spallanzani, Carradori ed altri fra noi, come pure alcuni fisici stranieri istituirono parecchi sperimenti per indagare l'origine della luce di quegli esseri viventi, e nell'anno 1843 ebbe luogo al congresso scientifico italiano di Lucca una lunga discussione su tale argomento (1). Quegli animaletti furono posti a vivere nel puro gas ossigeno, nel gas acido carbonico, ed in altri fluidi aeriformi permanenti e non permanenti, ma non si giunse sinora a stabilire con asseveranza se il fenomeno luminoso dipenda da una lenta combustione alimentata dalla vitalità animale, o da una funzione particolare nella quale nasca uno sviluppo di elettrico. La fosforescenza, che si mostra sulla superficie del mare, si attribuisce pure ad una miriade di quegli animaletti natanti sulle acque, senza però decidere sull'origine della luce da essi sparsa (2). Lo stesso si dica della luce tramandata da pesci in putrefazione, la quale si manifesta d'ordinario due giorni dopo la loro morte e dapprima vicino agli occhi. La fosforescenza dura per alcuni giorni, essendosi in alcuni riscontrata dopo due e più settimane (3).

880. La combustione è il mezzo principale per ottenere artificialmente la luce ad uso ed a comodo degli uomini e della società, ed a rischiarare le tenebre durante la notte. Tutte le materie combustibili abbruciano spandendo una luce più o meno vivace accompagnata da un grande sviluppo di calorico, di cui c'intratterremo nel capitolo, dove si tratta di questo agente. In generale i corpi divengono luminosi, quando sia sufficientemente elevata la loro temperatura, e perdono tale facoltà nel raffreddarsi, per cui la luce è spesso associata al calorico. Molte materie, esposte ad un gran calore, si riscaldano senza abbruciare e diventano *ignescenti* spandendo una luce tran-

(1) Vedi gli *Annali di fisica* più volte citati, t. XI, pag. 87, 88 e 90, e t. XII, pag. 102, 104, 106, 107 e 108.

(2) Vedi i medesi *Annali*, seconda serie, t. I, pag. 289.

(3) *Physikalisches Vörterbuch neu bearbeitet*, t. VI, pag. 258.

quilla. Il ferro, al calore di 335° del termometro centesimale, incomincia a splendere nell'oscurità, e vicino a 540° comparisce luminoso al chiarore del giorno. Parimenti il vetro diventa splendente a 557° dello stesso termometro.

Per avere una luce permanente e propria ai bisogni della società durante la notte e nei luoghi tenebrosi, è necessario attivare la *combustione con viva fiamma*. Nell'illuminazione ottenuta con questo processo importa: 1° che le materie combustibili ardano facilmente nell'aria atmosferica; 2° che abbondino in natura, onde siano di poco costo; 3° che i prodotti della combustione non alterino i corpi presso i quali si compie una tale operazione, nè spandano nell'aria qualche gas nocevole all'economia animale. L'esperienza ha altresì mostrato che la fiamma delle materie in combustione aumenta di splendore in presenza di corpi solidi. Uno degli esempi sorprendenti di tale influenza si ha dalla fiamma della combustione dell'idrogeno mescolato coll'ossigeno nelle giuste proporzioni per ottenere l'acqua (§. 727), il cui effetto è stato perciò chiamato da Gaudin *sole artificiale* o *luce siderea* (1). La fiamma del puro idrogeno mescolato coll'ossigeno dà una luce sufficientemente viva, ma essa, diretta con conveniente velocità sopra un cilindretto di calce ben disseccata, acquista uno splendore estremamente più grande e spande una luce così abbagliante da reggere al confronto di quella dei raggi solari. È appunto per questa ragione che, nell'illuminazione a gas, l'idrogeno non si adopera mai puro, ma sempre più o meno carburato. Tutti i corpi che, nel riscaldamento, non sono suscettibili di sviluppare delle sostanze allo stato aeriforme, diventano soltanto ignescenti ed abbruciano senza fiamma. In parecchi altri casi l'azione chimica dà luogo ad uno sviluppo di luce.

Si è creduto sino a questi giorni dalla maggior parte dei fisici che il fosforo fosse splendente soltanto per una lenta combustione; ma le recenti sperienze di Marchand dimostrano l'erroneità di tale opinione, deducendosi dalle medesime che il fosforo può diventare luminoso indipendentemente dall'azione chimica del gas, dove trovasi immerso (2).

881. Alcune materie, convenientemente manipolate e riscaldate ad

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc., più volte citati, t. II, pag. 75. Gaudin ha altresì sostituito al gas idrogeno un combustibile liquido facile a passare in vapore. Vedi gli stessi *Annali*, t. XXII, pag. 283.

(2) Vedi la seconda serie degli stessi *Annali*, t. III, pag. 276.

un moderato calore, acquistano la proprietà di spandere una debole luce visibile nell'oscurità e somigliante a quella prodotta dal fosforo, per cui una tale proprietà luminosa fu chiamata *fosforescenza*, denominando *fosfori* le materie medesime così preparate. Uno dei fosfori più antichi è la così detta *pietra di Bologna*, la cui proprietà fu scoperta sino avanti l'anno 1630 da Vincenzo Cascariolo. Essa consiste in ispato pesante o solfato di barite, che diventa luminoso riscaldato nei carboni ardenti, il cui splendore aumenta in intensità e in durata trattando la pietra nel modo seguente: si riduce essa in polvere grossolana e, mescolata con albume d'uovo o mucilagine di gomma dragante, se ne forma una pasta molle. Preparata in tal modo, si pone fra i carboni ardenti, e dopo circa due ore di riscaldamento al fuoco moderato dei medesimi diventa una massa compatta, che è luminosa per un certo tempo nell'oscurità.

Un altro corpo splendente è il fosforo di Canton, che si prepara nel modo seguente: si mettono dei gusci d'ostriche al fuoco di carboni per un'ora, e scelti i più puliti si mescolano con un terzo di fegato di solfo, oppure si dispongono in istrati dentro un crogiuolo cosparsi di fiori di solfo; si copre il crogiuolo, si riscalda gradatamente e si mantiene per un'ora al calor rosso dei carboni ardenti. Dopo il raffreddamento si ha una massa splendente nell'oscurità, che si può conservare chiusa in tubi di vetro. Molte composizioni di simil genere si sono trovate da parecchi dotti nello scorso e nel presente secolo (1), le quali mostrano come la materia ponderabile possa diventare luminosa, e presentano dei fatti importanti per argomentare dell'origine della luce.

882. Le materie precedenti, quando hanno perduto la fosforescenza, la riacquistano esposte per un certo tempo ai raggi solari. La luce elettrica che si fa passare lungo la superficie di tali materie è pure capace di ridonare loro la fosforescenza.

La fosforescenza prodotta per mezzo dell'azione dei raggi solari, o come si dice per *insolazione*, si manifesta anche nei corpi naturali, senza essere previamente manipolati. Il diamante è di questa specie, ed esposto al sole, splende nell'oscurità. Beccari e Wilson istituirono parecchie osservazioni di questa specie. Alcuni fossili calcari sono pure dotati della proprietà di diventare fosforescenti dopo essere stati esposti ai raggi solari. Lo stesso è del carbonato e del solfato di calce, come pure di parecchi altri minerali consimili.

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc., seconda serie, t. II., pag. 74.

La fosforescenza si mostra per qualche istante nella frattura di alcuni sali, le cui basi sono alcaline o terrose. Nella cristallizzazione di certe sostanze si è del pari riscontrato un tal fenomeno. Il nostro Gioberti l'ha osservato nella cristallizzazione del solfato di calce. Nella pressione e nello strofinamento di parecchi corpi si osserva pure una luce passeggiera, di cui parleremo nei capitoli del calore e dell'elettricità.

In questi come nei precedenti casi vi ha dunque una produzione di luce in corpi che ne sono naturalmente privi. Sono le molecole della materia ponderabile capaci di vibrare sotto quelle azioni chimiche, fisiche e mecaniche, e d'imprimere le corrispondenti ondulazioni nell'etere circostante per produrre nell'occhio la sensazione luminosa? Esiste forse nei corpi medesimi il principio luminoso, che sotto quelle azioni concepisce la facoltà di mettere in movimento l'etere? Queste domande non possono ricevere risposte soddisfacenti. Ai fenomeni riportati però si dovrà sempre aver riguardo, quando il sistema, imaginato per ispiegare molti altri effetti somiglianti, si vuole che diventi una verità dimostrata della scienza.

883. Non meno mirabili e difficili ad essere spiegati, coi principii mecanici del sistema delle ondulazioni, sono molti fatti ed effetti prodotti dall'azione chimica della luce. Sappiamo infatti che sotto l'influenza del fluido luminoso l'*acido nitrico ingiallisce; l'oro ed altri metalli si separano* dai corpi cui sono congiunti nelle loro soluzioni e sono ridotti in parte o in tutto allo stato concreto; il *cloruro d'argento* ed altri sali della stessa base subiscono un'alterazione, e da bianchi diventano neri; il *cloro* e l'*idrogeno*, mescolati a parti eguali, si combinano con detonazione; molti *colori si alterano*; l'*ossigeno si svolge* da parecchie sostanze che lo contengono. L'acqua satura di cloro sviluppa sotto l'azione della luce l'ossigeno, mentre l'idrogeno si combina col cloro per formare l'acido cloridrico. Il cloro al contatto dell'idrogeno carburato e dell'acqua, agisce sotto l'influenza della luce e s' impossessa dell'idrogeno di ambidue questi corpi, mentre l'ossigeno si unisce al carbonio, dando così luogo allo sviluppo dei due gas acidi cloridrico e carbonico. Parecchi altri fatti presenta la chimica dell'azione della luce sulla materia ponderabile; ed una tale azione si è riconosciuta maggiore nei raggi violacei che in quelli rossi. D'altronde le lastre e le carte fotografiche, mentre sono un'ingegnosa applicazione alle arti di tale proprietà della luce, somministrano nuovi fatti della sua azione sulla materia ponderabile.

La luce esercita anche la sua influenza sui corpi viventi; e le piante

decompongono sotto la sua azione l'acido carbonico, lasciando libero l'ossigeno e ritenendo il carbonio. Ed anche qui, secondo Senebier, l'influenza è maggiore nei raggi violacei che negli altri colori. Pare, secondo alcune sperienze, che i semi non possano germogliare senza il concorso dei raggi luminosi. Allorquando le foglie si sono sviluppate, la luce diventa necessaria per operare la decomposizione dell'acido carbonico e la formazione della parte legnosa della pianta. Giunta essa al suo pieno sviluppo sotto l'influenza dei raggi luminosi, prevale l'azione dei raggi calorifici per lo svolgimento dei fiori e la maturazione dei frutti (1). Non sembrerebbe quindi priva di fondamento l'influenza dei raggi luminosi riverberati dalla luna sulla vegetazione. D'altronde, poste delle piccole pianticelle sotto campane diversamente colorate percosse dalla luce solare, si è trovato che i *raggi azzurri* diedero una rigogliosa vegetazione verde; i *gialli* ed i *rossi* invece mostrarono effetti contrarii.

L'uomo eziandio perde il bel colorito della sua carnagione e infievolisce nella sua costituzione se è costretto a vivere in luoghi tenebrosi. L'acido carbonico si decompone in presenza di piccoli animaletti infusorii (2). Tutto ci attesta insomma la grande azione che la luce esercita sui corpi ponderabili, organici ed inorganici.

884. Vedremo in altro capitolo quali effetti prova la luce in presenza dell'elettricità e del magnetismo; qui dobbiamo dire della diversa azione dei raggi colorati dello spettro prismatico. Si è già veduto che i raggi solari dello spettro sono dotati di differente facoltà illuminante (§. 812): non va però essa d'accordo col loro potere calorifico. Infatti Herschel ha provato con una serie d'esperienze che la forza calorifica aumenta gradatamente dall'estremità violacea all'estremità rossa dello spettro. Egli trovò che il termometro continuava ad indicare un accrescimento di calore portato al di là dell'estremo rosso, ove non si scorgeva verun raggio luminoso; da cui dedusse che *nella luce solare esistono dei raggi invisibili, i quali sono calorifici e meno rifrangibili dei rossi*. A millimetri 38 $\left(\text{poll. } 1\frac{1}{2}\right)$ dall'estremo rosso, i raggi invisibili manifestarono ad Herschel ancora un calore considerabile, quando il termometro veniva posto alla distanza

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc., più volte citati, t. XVIII, pag. 44, e t. XXVIII, pag. 293.

(2) Vedi i suddetti *Annali*, t. IV, pag. 142.

di metri $1\frac{1}{3}$ (pollic. 52) dal prisma. Bérard ottenne dei risultati analoghi, avendo però trovato che il massimo calore si aveva quando i raggi rossi coprivano interamente il bulbo del termometro. Davy ha ripetuto quest'esperienze sotto il bel cielo d'Italia con termometri a piccolissimo bulbo, di circa 2 millimetri $\left(\frac{1}{12}\text{ di pollice}\right)$ e giunse ai medesimi risultati.

Le sperienze di Seebeck e di altri fisici mostrerebbero invece che il massimo calore varia di posizione al variar la sostanza del prisma rifrangente. Secondo essi il massimo calore verrebbe a cadere nel raggio giallo per un prisma fatto d'acqua, d'alcoole o di olio di trementina; esso sarebbe portato nell'aranciato prendendo per materia rifrangente l'acido solforico concentrato, la soluzione di sale ammoniaco o di sublimato corrosivo; nel mezzo del rosso con un prisma di crovno o di vetro bianco, e al di là del rosso con un prisma di flinto. Il raggio polarizzato, che cade sopra una lastra di vetro convenientemente inclinata, sappiamo che non ne è riflesso e riesce invisibile all'occhio; tuttavia manifesta calore.

L'azione chimica dei raggi colorati dello spettro va decrescendo dall'estremità violacea a quella rossa; anzi si scoprì al di là dei raggi violacei un'azione chimica maggiore (1). Inoltre alcune sostanze, per le quali si fa passare la luce, sono suscettibili di ritardare l'azione medesima (2). Da quanto si è detto furono i fisici indotti a ritenere la luce solare composta di tre sorta di raggi, cioè: *illuminanti*, *calorifici* e *chimici*.

## SEZIONE III.

### *Della visione.*

883. Nelle precedenti sezioni abbiamo fatto conoscere le leggi e i fenomeni della luce nel diffondersi per lo spazio, come pure le modificazioni che essa subisce dai corpi posti lungo il suo cammino. Ora dobbiamo esaminare il fluido luminoso nell'organo stesso che ne riceve la sensazione, e dichiarare il mecanismo della visione tanto ad occhio libero quanto ad occhio armato di strumenti ottici. S'intende per *visione* il modo o l'atto con cui prendiamo idea dell'esi-

(1) Vedi gli *Annali di fisica* succitati, t. 1, pag. 233, come pure pag. 13.
(2) Vedi il detto t. 1, degli *Annali*, pag 23.

stenza degli oggetti circostanti, in causa dell'impressione che essi fanno su di noi per mezzo della luce inviata all'occhio. Acquistiamo in tal maniera conoscenza della loro posizione e figura, della loro grandezza e distanza e dei loro colori e moti.

Nei fenomeni della luce come in quelli del suono è d'uopo distinguere l'*impressione* fatta sui nostri organi, dalla *causa* che la produce. Quest' ultima può essere sconosciuta, ipotetica; ma la prima è determinata e reale. Nel linguaggio scientifico, il suono è la vibrazione della materia ponderabile, e la luce la vibrazione d'un etere imponderabile. La luce come il suono esistono dunque nello spazio fuori di noi, e possiamo concepirli e rappresentarli alla nostra mente come movimenti sottoposti a certe condizioni; ma le percezioni dell'uno e dell'altra esistono in noi in una maniera determinata.

Affine di comprendere come succede questo importante atto delle nostre percezioni, non solo basta che ogni punto dell'oggetto invii all'occhio dei raggi luminosi, da cui è rischiarato; ma bisogna che tutti i raggi, appartenenti al medesimo punto, giungano a colpire riuniti in un sol sito la parte dell'organo che ne prova la sensazione, risveglia l'idea e ci avverte della presenza del punto medesimo. È necessario dunque che nell'occhio si riproducano altrettanti punti lucidi quanti sono quelli dell'oggetto visibile, ossia che se ne generi un'imagine fedele. Imperocchè non vi ha imagine distinta quando i raggi luminosi, inviati da un singolo punto, non si radunino in un sol sito nell'organo della visione. Consideriamo infatti l'oggetto AB posto al di fuori della camera oscura o d'uno spazio qualunque rinchiuso da ogni lato in modo che non vi penetri luce (fig. 136). Nella parete, corrispondente all'oggetto AB, si faccia un piccolissimo foro: di tutti i raggi, che partono dal punto estremo A, il solo A*a* corrisponde direttamente a quel foro, e quindi entra nella camera e dipinge in *a* l'imagine del punto medesimo. Se altri raggi fossero entrati nell'ambiente oscuro, sarebbero caduti in un sito differente da *a*, ed avrebbero prodotto parecchie imagini lucide del punto A o uno spazio illuminato, che non presenterebbe l'idea distinta di quell'unico punto. Lo stesso si dica dell'altro punto estremo B, il quale, col raggio diretto per B*b*, dipinge nello spazio oscuro l'imagine *b*. L'egual ragionamento è applicabile a tutti i punti intermedii, per cui si formerà l'imagine capovolta e distinta *ab* dell'oggetto AB.

Affinchè un oggetto riesca visibile, è mestieri dunque che generi una sola imagine nell'organo della visione, ossia che tutti i raggi luminosi, che partono da ciascun punto dell'oggetto ed entrano nel-

l'occhio, si riuniscano in un sol sito per produrvi la rispettiva imagine, e che queste imagini poste di seguito come i punti dell'oggetto ne formino nell'occhio la rappresentazione. Se il foro fosse di tale grandezza da lasciare adito a più d'un raggio luminoso d'ogni punto dell'oggetto, basterà collocare nel foro stesso una lente convessa, la quale, radunando i raggi luminosi di ciascun punto in serie d'altrettanti punti, genererà l'imagine totale dell'oggetto (§. 801).

Un oggetto, per essere visibile, è necessario che non rifletta regolarmente la luce, da cui è illuminato. I corpi infatti, riflettendo regolarmente i raggi luminosi che li rischiarano, non si potrebbero distinguere, nè sospettarne l'esistenza, avvertendoci soltanto del corpo illuminante, come si è altrove notato (§. 755). Se la luna, per es., fosse fatta d'una materia tersa e pulita, od avesse la superficie circondata di mercurio, essa non sarebbe veduta dagli abitanti della terra quando è illuminata dal sole, ma soltanto comparirebbe di dietro ad essa quest'astro nello stesso modo che appariscono le imagini in uno specchio.

Noi dunque vediamo ciascun punto d'un oggetto per un cono luminoso, il quale ha la base sull'occhio e il vertice nel punto medesimo. Di questi coni luminosi ve ne sono tanti, quanti sono i punti che si presentano al nostro sguardo; ed essi nell'attraversare i mezzi rifrangenti dell'occhio s'intersecano senza confondersi, come non si confondono due fasci luminosi che s'incontrano nello spazio. Nelle dimostrazioni dei fenomeni della visione, *indicheremo questi coni semplicemente coi loro assi.*

Dalle precedenti considerazioni si deduce che il foro, per dove i raggi luminosi entrano nell'occhio, dovrebbe avere una piccolezza tale da non lasciare penetrare che un sol raggio luminoso per ciascun punto dell'oggetto, oppure che quell'organo fosse fornito di mezzi rifrangenti i quali, come una lente convessa, radunassero i raggi luminosi di ciascun punto in un solo ed unico sito. È mestieri altresì che, per evitare la confusione delle imagini, sia impedita la dispersione della luce o la divisione nei raggi colorati di cui si com pone (§. 814), vale a dire che l'occhio sia un mezzo rifrangente acromatico (§. 815). Nell'organo appunto della vista si riscontrano queste proprietà, come ci facciamo a dichiarare incominciando a descrivere l'occhio e ad anatomizzarlo per riconoscerne le parti, che concorrono al mirabile mecanismo della visione.

886. L'organo della visione è l'occhio, il quale con un solo sguardo abbraccia una moltitudine di oggetti, avendo una grande mobilità e

facilità di dirigersi per ogni verso e in certa guisa di moltiplicarsi colla varietà delle posizioni. Le palpebre, per la loro agilità, sono sempre pronte ad abbassarsi per difendere l'occhio da un'impressione troppo forte di luce o dall'urto di piccolissimi corpi vaganti nell'atmosfera. L'occhio è un vero strumento d'ottica, nel quale si disegna o meglio si dipinge in piccolo il ritratto dei corpi situati avanti lo spettatore. Fra un sì gran numero d'oggetti, che presenta la natura, niuno vi ha che più di quell'organo mirabile porti tanto sensibilmente scolpita l'infinita sapienza del Creatore.

Nel suo complesso costituisce un globo sferico che dicesi *bulbo*, ed è collocato dentro una cavità, la quale appellasi *orbita dell'occhio*. Esso si compone di alcune membrane più o meno consistenti, che ne formano il bulbo. L'esterna ABC chiamasi *sclerotica* e circonscrive l'occhio, meno nella parte anteriore CC (fig. 137). Essa è bianca, elastica, opaca e molto consistente, formando l'involucro del bulbo. Anteriormente si congiunge coll'altra CDC di maggior convessità e prominente, che appellasi *cornea* ed è diafana e flessibile. È questa la prima membrana ottica, per cui passano i raggi luminosi e ne sono rifratti. La cornea è dotata di grande resistenza, d'uniforme grossezza, e composta di parecchi strati fortemente fra loro aderenti e in istato di opporsi agli urti esterni ed alle ingiurie dell'atmosfera. Sulla superficie interna della sclerotica si distende e si confonde quasi con essa una sottile pellicola, a cui se ne appoggia una seconda, fra le quali si trovano molti vasellini, che contengono una specie di liquido nerastro, e formano nel loro complesso un tessuto vellutato *abc*, che ha il nome di *coroide*. Questa è ricoperta da una membrana reticolare costituita dal distendimento del *nervo ottico* e che dicesi *retina*. Il nervo ottico entra nell'occhio per *ab* in un punto situato circa millimetri $2\frac{1}{2}$ dall'asse dell'occhio medesimo spostandosi verso il naso.

Vicino al sito dove la cornea si congiunge alla sclerotica, la coroide si divide in due parti; l'anteriore *cp* si distende sotto la protuberanza della cornea e chiamasi *uvea*, ove trovasi quella specie di cerchio colorato detto *iride*, e verso il mezzo il foro chiamato *pupilla*; la posteriore *cq* dicesi *corona cigliare*, è increspata e in certa guisa composta di fogliette di cui vedremo tosto l'uso. L'iride è formata di fibre muscolari assai delicate, le une orbicolari disposte intorno alla circonferenza della pupilla, le altre diritte come altrettanti raggi diretti al centro della medesima. Le prime servono colla loro contrazione a restringere la pupilla ed a moderare così l'impressione d'una luce

troppo viva; le seconde a dilatarla per dare adito ad un maggior numero di raggi luminosi nei luoghi poco rischiarati. Talchè si è trovato che nell'oscurità della notte il diametro della pupilla è quasi 3 volte quello che ha nel chiaro giorno. I colori più comuni dell'iride sono l'aranciato e l'azzurro, e spesso questi colori si trovano mescolati. Gli occhi, che si chiamano neri, hanno un color aranciato bruno. In generale la pupilla, corrispondendo alla coroide, apparisce nera.

La corona cigliare tiene sospeso, dirimpetto al foro della pupilla, un corpo solido E, trasparente. di forma lenticolare e più convesso nella parte interiore che in quella esteriore, il quale dicesi *lente cristallina* o semplicemente *cristallino*. Il raggio di curvatura della superficie posteriore è più piccolo di quello dell'anteriore. La densità di questa lente aumenta dalla circonferenza verso il centro, ed è composta di strati concentrici.

Le descritte membrane sono come le pareti di due cavità: l'una anteriore compresa fra l'iride ed il cristallino, nella quale è contenuta una sostanza liquida e bianca, di densità poco differente dall'acqua e detta perciò *umor acqueo*; l'altra posteriore molto più grande compresa fra il cristallino e la retina, contenente una specie di gelatina perfettamente diafana chiamata *umor vitreo*. L'indice di rifrazione degli umori acqueo e vitreo e del cristallino, si è trovato espresso, relativamente all'aria, dai numeri seguenti:

| *Umor acqueo* | *Lente cristallina* | | | *Umor vitreo* |
|---|---|---|---|---|
| | Superficie | Centro | Media | |
| 1,3360 | 1,3767 | 1,3990 | 1,3839 | 1,3394 |

L'indice di rifrazione del cristallino poi relativamente agli umori acqueo e vitreo presi assieme è di 1,049, e quello della cornea 1,330. Le misure medie della curvatura e delle dimensioni inoltre dei suddetti mezzi rifrangenti sono:

| | | |
|---|---|---|
| Raggio di curvatura della cornea . . . . . | *millim.* | 8,46 |
| Raggio della superficie anteriore del cristallino. | « | 6,67 |
| Raggio della superficie posteriore . . . . . | « | 5,64 |
| Distanza del cristallino dalla cornea . . . . | « | 2,82 |
| Grossezza del cristallino . . . . . . . . . | « | 4,41 |
| Grossezza della cornea . . . . . . . . . | « | 0,60 |
| Lunghezza dell'asse dell'occhio . . . . . . | « | 24,60 |

Noi abbiamo notato le parti principali che costituiscono il bulbo

dell'occhio e quelle che servono alla visione. Del resto aggiungeremo che il così detto *bianco dell'occhio* è formato da una membrana particolare chiamata *tunica albuginea,* la quale aderisce fortemente alla cornea. Essa è ricoperta da un'altra membrana sottilissima e flessibile, appellata *tunica congiuntiva,* che si ripiega verso il contorno dell'orbita e costituisce la superficie interna della palpebra. In questa membrana trovasi una moltitudine di piccolissimi fori, attraverso i quali passa il fluido che deriva dalla *glandula lagrimale.* Ciò che a noi importa altresì di sapere si è che quel meraviglioso organo è provveduto di differenti muscoli destinati a procurargli una moltitudine di movimenti ed a metterlo così in posizione da poter vedere gli oggetti diversamente situati. La distanza focale principale del cristallino è di circa 44 millimetri. Il campo della visione è di 50° all'insù della linea orizzontale e di 70° all'ingiù, ossia di 120° nel piano verticale; mentre è di 150° in quello orizzontale.

Per prendere un'idea più adeguata delle parti inservienti alla visione, e per farle meglio conoscere nella scuola, si suole anatomizzare l'occhio di vitello o di bue, che poco differisce da quello dell'uomo. A tal fine si provvede un occhio fresco di bue e si spoglia delle sostanze che circondano esternamente la sclerotica, conservando soltanto il nervo ottico. Mediante una forbice si fa una profonda apertura presso il contorno della cornea, per dove scola tosto l'umore acqueo, che si raccoglie in una piccola tazza per esaminarlo. Dopo ciò si taglia all'intorno e si leva la cornea trasparente, che si pone in disparte pel medesimo scopo. Resta in tal modo allo scoperto l'interno dell'occhio, e si ravvisa quindi facilmente l'iride e il cristallino sostenuto dalla corona cigliare. Con una lieve pressione esercitata sul bulbo, ne sorte il cristallino, che si riceve sopra un piatto assieme all'iride. Questa si distende accuratamente per vederne la pupilla, che nell'occhio bovino è un poco ovale. Si spreme fuori nell'egual modo l'umor vitreo, e rimane così il bulbo dell'occhio interamente vuoto, non presentando esso altro che una cavità sferica, che prima era esattamente ripiena delle parti sunnominate. Ora si potrà scorgere la retina, che ne addobba tutto il fondo e che al disotto è rivestita del tessuto vellutato della coroide.

Il cristallino, essendo una lente perfetta, ha come le altre lenti il suo asse (§. 794), il quale attraversa tutti gli altri mezzi rifrangenti dell'occhio, e si denomina in questo caso *asse ottico.*

887. Conosciuta la struttura dell'occhio, si comprende facilmente il modo con cui dentro di esso si formano le imagini degli oggetti, e

quindi come avvenga il meccanismo della visione, secondo i principii suesposti (§. 885). La cornea e il cristallino, unitamente all'umor acqueo, agiscono nella stessa maniera d'una lente convessa e formano coi raggi, trasmessi per la pupilla, le imagini rovesciate degli oggetti esterni. Dopo aver attraversato la cornea, i raggi luminosi, provenienti dallo stesso punto, incominciano ad essere rifratti dall'umor acqueo, e giungono al cristallino meno divergenti, dal quale, per la sua proprietà lenticolare, sono ricongiunti di nuovo in un sol punto. In tal modo, per le rifrazioni operate, ogni cono di raggi produce sulla retina un'impressione isolata, distinta e più energica. Quest'impressione si trasmette al nervo ottico per la retina, la quale ne è un distendimento, e per esso passa al cervello, sede dell'intelligenza. Se i raggi d'ogni punto non venissero ancora a riunirsi sulla retina, vi produrrebbero sensazioni separate, ed impedirebbero di distinguere i singoli punti dell'oggetto da cui provengono, per cui non si potrebbe formarsene un'idea distinta. Al contrario ciascun punto, producendo una sola imagine e quindi un'unica impressione e sensazione, risveglia una sola idea che non si confonde con quelle delle altre parti, e si ha in tal maniera la percezione dell'oggetto totale.

La fig. 138 rappresenta la sezione AB dell'occhio unitamente al cono luminoso *eCf* del punto estremo C dell'oggetto CD, rovesciato poscia in *ecf* per la rifrazione che subisce passando pel cristallino e gli altri mezzi e dipingendone in *c* l'imagine; come pure il cono luminoso *eDf* dell'altro estremo D col relativo rovesciamento *edf* e l'imagine *d*. La retta *ghi* rappresenta l'asse ottico dell'occhio, e le C*hc*, D*hd* dei due coni luminosi.

L'imagine non si vede guardando per la pupilla negli occhi altrui. Ciò dipende dalla saggia previdenza del Creatore, il quale formò l'occhio in maniera che, tappezzandone il fondo di nero, niun raggio di luce è riflesso. Per assicurarsi però in una maniera evidente che le imagini si formano sul fondo dell'occhio, s'istituisce l'esperienza seguente: con delicatezza e precauzione si spoglia l'occhio bovino degli involucri esterni, in maniera che sul suo fondo di contro alla pupilla più altro non rimanga che la membrana interna, e che i mezzi rifrangenti in esso contenuti non siano alterati. Si assesta poscia l'occhio così preparato in un'apposita custodia, munita di fori opposti corrispondenti all'asse dell'occhio, e gli si colloca avanti un oggetto ben lucido, per es., la fiammella d'un cerino acceso: si osserva che l'imagine della fiammella si dipinge fedelmente capovolta sulla membrana del fondo dell'occhio messa a nudo.

Si può a questo riguardo imitare la natura coll'*occhio artificiale.* Consiste questo apparato in un globo cavo di metallo, annerito internamente e munito di due fori rotondi diametralmente opposti. Ad uno di questi è applicato un tubo con una lente convessa di 7 in 8 centimetri di distanza focale; nell'altro è assicurato un vetro appannato su cui si dipingono le imagini prodotte dalla lente. Quest'apparecchio è una copia imperfetta dell'occhio naturale: la lente rappresenta il cristallino e le altre sostanze rifrangenti, ed il vetro appannato la retina. La differenza consiste in questo, che nell'occhio artificiale si fa uso d'un solo mezzo rifrangente; mentre, per le ragioni accennate e per altre che vedremo in seguito, nell'occhio naturale si usano più mezzi dotati di diversa potenza rifrattiva e dispersiva.

L'occhio artificiale porta nella stessa incassatura altre due lenti: l'una di maggiore convessità e quindi di minore distanza focale della precedente, l'altra invece di minor convessità e di distanza focale più grande. Le tre lenti si possono con facilità, mediante un ordigno, sostituire successivamente l'una all'altra nel foro dell'occhio, per le sperienze, di cui parleremo più avanti.

888. Sulla retina dunque gli oggetti si dipingono capovolti. Ora si domanda per qual ragione li vediamo diritti? Si crede comunemente che correggiamo un tal errore sin dall'infanzia coll'esperienza, comparando dapprima le imagini rovesciate cogli oggetti e rettificando in seguito col tatto il nostro giudizio. Veruna osservazione però non si ha in appoggio di questa opinione; anzi ci sembra distrutta dalla maniera con cui si opera in noi la sensazione, e facciamo il relativo giudizio della causa che la produce. Imperocchè riferiamo ogni punto sul prolungamento dell'ultimo raggio giunto sulla retina. Questa regola è così generale che, se i raggi prima di giungere all'occhio hanno provato qualche deviazione, noi crediamo il punto, da cui furono inviati, lungo l'ultima retta da essi percorsa nell'arrivare all'occhio medesimo (§. 739). Il raggio di luce, pervenuto sul fondo dell'occhio, vi esercita una specie di colpo o tocco delicato, dal quale siamo avvertiti della presenza del punto lucido, che l'ha inviato. Siccome l'occhio riferisce questo punto lungo la retta percorsa dal raggio nel giungervi; così noi cerchiamo in alto l'origine del raggio venuto dall'alto, al basso quello venuto dal basso, a destra l'altro giunto da destra ecc. La disposizione contraria dunque dei raggi nell'occhio non c'impedisce di vedere gli oggetti quali sono nel loro ordine naturale. Avviene in questo caso presso a poco come ad un cieco che, con due bastoni incrocicchiati nelle mani, giudica a destra ciò che tocca

mediante il bastone della mano manca, ed a sinistra ciò che tocca con quello della mano destra. Pare dunque che non sia mestieri di ricorrere all'esperienza per ispiegare la visione degli oggetti dritti, quantunque l'imagine nell'occhio sia capovolta.

Osserviamo altresì che, quando i metafisici credevano essere il soggetto della percezione della vista l'imagine dell'oggetto dipinta nell'occhio, i fisici dovevano indagare come quest'imagine, essendo capovolta, compariva all'anima dritta. Ma dopo che la moderna filosofia ha mostrato che nella percezione si contempla l'oggetto medesimo e non l'imagine, non hanno più luogo simili disputazioni.

Parimenti pei due occhi riceviamo due sensazioni, e nulladimeno non vediamo gli oggetti duplicati: per ispiegare il fenomeno si suole pure ricorrere all'esperienza. Allorquando guardiamo direttamente un oggetto e gli assi ottici sono realmente rivolti verso di esso, noi riferiamo con ambidue gli occhi l'oggetto al medesimo sito dello spazio dallo stesso occupato, e non vi ha ragione per vederlo duplicato, nell'egual modo che, toccando colle due mani il medesimo corpo, non lo concepiamo duplicato, quantunque ne riceviamo due sensazioni distinte. Ma se si cambia direzione agli assi ottici rimovendo con un dito uno degli occhi dalla sua naturale posizione, e quindi cambiando direzione ad uno degli assi stessi, l'oggetto comparisce duplicato, formandosi allora le imagini sopra parti che non si corrispondono e danno origine a due diverse sensazioni.

889. Il cristallino per la sua forma lenticolare deve, al pari delle altre lenti, separare i colori della luce bianca che entra nell'occhio e far nascere la dispersione (§. 814). Lo stesso si dica dell'umor acqueo e degli altri mezzi rifrangenti. A malgrado di ciò gli oggetti nella visione non compariscono colorati; il che è una prova che i mezzi rifrangenti dell'occhio costituiscono nel loro insieme un sistema acromatico (§. 815). Si ritiene generalmente che la dispersione prodotta in un verso dalla lente convessa del cristallino sia annullata dall'azione contraria della concavità dell'umor vitreo; e che i mezzi rifrangenti dell'occhio formino un sistema acromatico nello stesso modo delle lenti composte artificialmente (§. 819).

Brewster però opina che l'aberrazione di sfericità, unitamente a quella di rifrangibilità, sia corretta dalla variazione di densità del cristallino, il quale, avendo il maggior potere rifrattivo verso la parte centrale, rifrange i raggi che l'attraversano vicino alla circonferenza nello stesso punto di quelli più vicini al centro. D'altronde, aggiunge, nell'occhio umano la deviazione dei raggi diversamente colorati è

troppo debole per produrre le imagini colorate. Se si copre tutta la pupilla, eccetto all'intorno del suo orlo, oppure si porti il dito così vicino all'occhio da lasciar giungere soltanto alcuni raggi di luce bianca, in questo caso si vedono distintamente i colori prismatici, il che non potrebbe aver luogo quando i mezzi rifrangenti costituissero un sistema acromatico. Ciò a dir vero prova soltanto che l'occhio è dotato del potere dispersivo, ma non se ne può dedurre a tutto rigore ch'esso non sia acromatico.

890. La retina, per la sua struttura delicata come espandimento del nervo ottico e per la sua prossimità all'umor vitreo, è generalmente ritenuta come la sede della visione, o la superficie sulla quale si fa l'impressione dell'imagine degli oggetti e la trasmette al cervello. Alcuni però negarono questa proprietà alla retina per essere d'un tessuto troppo debole e quindi non atto a corrispondere alle vibrazioni della luce, attribuendola alla coroide, dotata di maggior fermezza e più propria a tal ufficio. In appoggio di tale opinione si riporta la sperienza seguente: si attacchi ad un muro, tinto di nero ed all'altezza corrispondente a quella dell'occhio, un circolo di carta bianca del diametro di 2 in 3 centimetri. Alla distanza di 60 in 70 centimetri verso il lato destro, se ne appenda un secondo d'egual diametro e ad un'altezza minore del primo. Ora, tenendo chiuso l'occhio sinistro e fissando quello destro sul circolo più elevato, si scorge, quantunque debolmente, anche l'altro. Stabilita questa posizione, si faccia allontanare a poco a poco il secondo circolo, che continuerà ad essere veduto sino ad una certa distanza, ove cessa d'esserlo intieramente dall'occhio, che continua a star fisso sopra il primo circolo. La scomparsa del secondo circolo non dipende dalla troppa distanza, poichè l'occhio scorge ancora le cose che si trovano al di là di quella distanza, e ritorna a vederlo quando venga maggiormente allontanato.

Da che dipende che ad una certa distanza il circolo è invisibile, mentre al di qua o al di là della medesima riesce visibile? Ciò prova, si dice, che allora l'imagine cade sopra la porzione di retina non appoggiata sulla coroide o corrispondente al sito per dove entra il nervo ottico, il quale spazio è valutato in larghezza di circa $\frac{1}{7}$ del diametro dell'occhio o di poco più di 3 millimetri. Se dunque in quel sito cessa la visione, la retina sola non è capace di produrre la sensazione e di trasmetterla al cervello. Ad ogni modo non reca cambiamento al mecanismo della visione tanto che si ritenga la retina quanto la coroide come sede delle imagini.

Vi è stato altresì qualche fisico, che ha cercato di provare non essere sulla retina nè sulla coroide, dove succedono le impressioni dei coni lucidi, ma bensì sull'umor vitreo in cui i punti di questi coni formano delle imagini a tre dimensioni. Parecchi fatti sembrano provare una tale opinione, fra i quali quello di vedere distintamente gli oggetti a distanze molto differenti, di cui parleremo più avanti e si suol dare per ispiegazione la facoltà di accomodare gli occhi secondo le medesime (1). Parecchi sottilissimi filamenti nervei, che si estendono dalla retina nell'umor vitreo, porterebbero al cervello le impressioni delle imagini. Qualunque sia la sede delle imagini, è però sempre per la retina che le impressioni vengono trasmesse al cervello, e noi useremo ancora il linguaggio, generalmente adottato in tutti i trattati d'ottica, che le imagini si dipingano sulla retina.

891. Dopo aver mostrato in generale come succede il mecanismo della visione, passiamo ad indicare le cause che la rendono confusa e le condizioni per averla distinta.

Il debole illuminamento degli oggetti, o come si suol dire, la *poca chiarezza*, è una delle cause più conosciute che rendono confusa la visione; giacchè di notte, al debole chiarore delle stelle ed eziandio della luna, ognuno sa come compariscono confusi gli oggetti anche non molto distanti e ne nascono imagini così deboli e languide che c'impediscono di bene distinguerli in ogni loro parte e riconoscerli nei diversi loro caratteri. Un'altra causa, opposta alla precedente, è una *luce troppo viva*, per la quale si genera una soverchia irritazione nella retina, che non permette di contemplare l'oggetto e produce l'*abbagliamento*. Volendo osservare il sole, rivolgendo direttamente verso di esso lo sguardo, la nostra vista resta abbagliata. Bisogna quindi diminuire quella luce troppo vibrata ed intensa, osservandolo attraverso un vetro affumicato od a qualunque altro mezzo, che lasci passare soltanto quella porzione di raggi luminosi atti a produrre una moderata impressione nell'occhio. Parimenti, se la nebbia ingombra l'atmosfera, non solo impedisce di vedere gli oggetti ad un certa distanza per la sua poca trasparenza, ma ben anche per la soverchia quantità di luce che per essa va a colpire l'occhio. Un sottile vetro colorito in giallo posto avanti l'occhio ci rende visibili degli oggetti circostanti, che prima non lo erano, impedendo esso l'azione della troppa quantità di luce.

(1) Si vegga il *Giornale di fisica*, *chimica* ecc. di Brugnatelli. Decade II, t. IV, pag. 161; e *Bulletin* di Ferussac, t. III, pag. 174.

L'impressione fatta sull'organo della vista aumenta coll'intensità della luce e coll'area della pupilla, e diminuisce coll'ingrandimento dello spazio occupato sulla retina. Siccome poi la *chiarezza* dipende dall'impressione prodotta dalla luce, così si ammette che, per l'occhio sano, *la chiarezza è proporzionale al prodotto della densità della luce per l'area della pupilla, diviso per l'area della retina occupata dall'imagine.*

Ritenendo eguali le altre circostanze, la chiarezza per la visione distinta varia secondo la sensibilità dell'occhio che ne riceve l'impressione; sensibilità che differisce nelle diverse classi d'animali ed anche negli individui della medesima specie. Una luce troppo debole pel mio occhio basterà per un altro più delicato e sensibile. Vi hanno degli animali che di notte inseguono la preda colla medesima sicurezza con cui altri la inseguirebbero di pieno giorno. Vi ha dunque per loro abbastanza luce anche nella notte. Rarefacendosi però sempre più la luce, deve giungere un termine, e giunge diffatti, in cui cessa d'essere sensibile. Se di notte dirigiamo un telescopio verso quella parte di cielo, ove non si scorge verun astro, esso ce ne presenta tosto una moltitudine brillanti di luce. L'istrumento non ha fatto in questo caso che raccogliere un maggior numero di raggi luminosi, i quali altrimenti non giungevano all'occhio, condensando così una luce troppo diradata per riuscire sensibile, e rendendola capace a produrre un'impressione percettibile sull'occhio. Il fluido luminoso riempie continuamente lo spazio, lo attraversa in tutti i tempi e in tutte le direzioni, e se il nostro occhio non sempre se ne accorge, dipende dall'essere la sua sensibilità limitata. D'altronde si è veduto che nello spettro solare esistono dei raggi insensibili all'occhio, che hanno un'azione calorifera e chimica (§. 884).

Una luce troppo debole dunque come una troppo intensa rende confusa ed anche nulla la visione. Nell'illuminazione degli ambienti, e principalmente delle contrade e delle piazze in ampii spazi liberi, non bisogna concentrare troppa luce in una direzione, che nuocerebbe tanto più ad una buona visione in confronto dei luoghi contigui poco rischiarati. Bisogna invece procurare che la luce sia equabilmente diffusa nello spazio e non costringere l'occhio a moderare ad ogni momento la luce, che deve entrare per la pupilla a produrre l'impressione sulla retina. Imperocchè l'occhio ha la facoltà di restringere e d'allargare la pupilla, secondo che gli si presenta troppa o poca luce. Secondo Lambert l'uomo può ridurre la pupilla ad avere il diametro minimo di millimetri 2,55 e massimo di millimetri 6,99; per cui al-

cuni ammettono pel minimo e pel massimo ingrandimento il rapporto di millimetri 3 a 7. In parecchi trattati d'ottica si adotta nei calcoli pel diametro della pupilla soltanto millimetri 2,70. Per convincersi della variazione della pupilla secondo l'intensità della luce, si può istituire la seguente sperienza : si faccia collocare una persona presso un finestrino, corrispondente ad una parte ben illuminata del cielo, dapprima rivolta col dorso verso il medesimo. Se la camera in cui guarda la persona è nel resto oscura, e dopo alcuni minuti essa rivolge l'occhio al finestrino per ricevere una maggior quantità di luce, si scorge nella pupilla un sensibilissimo moto di contrazione, che meglio si esamina coll'aiuto d'una lente convessa. Si può istituire l'esperienza presentando improvvisamente all'occhio una candela accesa, mentre era accostumato a vedere in un luogo oscuro.

I riverberi parabolici per l'illuminazione delle contrade e delle piazze delle città sono soggetti ad un grande inconveniente (§. 767). Infatti la luce viene concentrata in un fascio cilindrico, che abbaglia la vista. Questa luce troppo viva obbliga a restringere la pupilla; talchè, rivolgendo lo sguardo verso gli spazi dove non è diretto quel fascio abbagliante di raggi, noi vediamo dapprima confusamente gli oggetti, richiedendosi un certo tempo all'occhio di allargare la pupilla. Il paralume di vetro smerigliato, che si applica alle lucerne destinate ad illuminare gli appartamenti, ha per iscopo di evitare un tale inconveniente spandendo all'intorno una luce diffusa, che non irrita l'occhio. Si potrebbe forse applicare con vantaggio un tal mezzo in altri casi.

È appunto per la stessa ragione che, da uno spazio vivamente illuminato entrando in un luogo che lo sia debolmente, vediamo al principio confusamente gli oggetti; sinchè, dando tempo alla pupilla di dilatarsi e di ricevere un maggior numero di raggi luminosi da ogni punto dei medesimi, la visione diventa distinta. E così all'inverso, passando dal luogo oscuro a quello vivamente illuminato, la vista rimane abbagliata; sinchè, essendosi ristretta la pupilla per moderare la quantità di luce nell'occhio, la visione riesce distinta. Questo doppio effetto è da noi spesso sperimentato nelle ore meridiane dell'estate, passando dalla vivissima luce del giorno negli appartamenti tenuti chiusi e viceversa.

892. Una debole od eccessiva chiarezza rende dunque confusa la visione. Quantunque coll'allontanamento dell'oggetto diminuisca la quantità di luce, che esso manda nell'occhio; tuttavia, per la medesima apertura della pupilla, *la chiarezza sulla retina rimane costante*

impicciolendosi proporzionalmente colla distanza la grandezza dell'imagine che ne produce l'impressione. Infatti, chiamando $c$, $c'$ le chiarezze in due differenti posizioni dell'oggetto od alle distanze $d$, $d'$, $a$, $a'$ le aree occupate dalle imagini nei due casi sulla retina, ed infine $s$, $s'$ le densità della luce: si ha da quanto si è detto nel precedente paragrafo $c : c' :: \frac{s}{a} : \frac{s'}{a'}$. Ora vedremo quanto prima che le dimensioni lineari delle imagini son in ragione inversa delle distanze dall'oggetto e perciò le superficie o le aree occupate dalle imagini medesime in ragione inversa dei quadrati di queste distanze: sarà quindi $a : a' :: d'^2 : d^2$. D'altronde sappiamo che le densità della luce è pure in ragione inversa dei quadrati delle distanze (§. 742), cioè è $s : s' :: d'^2 : d^2$; per cui si ha $s : s' :: a : a'$, e quindi $\frac{s}{a} = \frac{s'}{a'}$, dal che si ricava che nella proporzione superiore risulta $c = c'$, cioè le chiarezze eguali.

893. La chiarezza è bensì vero che rimane costante a misura che l'oggetto è allontanato dall'occhio; ma perdono però in distinzione le piccole parti di cui è formato, impicciolendosi colla distanza sempre più l'angolo ottico ch'esse fanno nell'organo della visione. Coll'allontanare adunque l'oggetto, la visione non diventa confusa per la chiarezza, ma bensì per l'*indistinzione* delle diverse parti dell'imagine corrispondenti a quelle dell'oggetto medesimo. Le imagini diventando sempre più piccole coll'aumentare la distanza, le diverse parti si riavvicinano in modo che si confondono le une colle altre, e si perviene ad un termine in cui la distinzione non è più percettibile e gli oggetti si vedono confusamente. Hook assicura che l'occhio il più acuto non può distinguere un intervallo nel cielo, per es., una macchia nella luna, quando non faccia nell'occhio un angolo di $\frac{1}{2}$ minuto. Per conseguenza due stelle, le quali non siano distanti fra loro d'un angolo maggiore di $\frac{1}{2}$ minuto, sembrano all'occhio nudo formarne una sola. Secondo Smith, l'uomo di vista più acuta appena può distinguere un circolo bianco sopra un campo nero e viceversa, quando la distanza dall'occhio supera 5156 dei suoi diametri (1), nel qual caso si trova facilmente col calcolo che sottende l'angolo di 20''

(1) *Cours complet d'optique de Robert Smith*, tradotto dall'inglese. Parigi 1777. t. I, pag. 42.

o di $\frac{1}{5}$ di minuto primo (§. 740). Donde egli conchiude che il diametro di quel cerchio dipinto sulla retina occuperebbe $\frac{1}{315}$ di millimetro $\left(\frac{1}{8000}\right.$ di pollice inglese$\left.\right)$, spazio piccolissimo che si chiama *punto sensibile* della retina medesima. Questo *punto sensibile*, ammessi gli stessi dati, si ridurrebbe ad una frazione molto più piccola di quella trovata dall'autore, risultandoci di poco meno di $\frac{1}{900}$ di millimetro.

894. La visione confusa può dipendere da un'altra causa differente da quelle mentovate, dall'*indecisione* cioè delle imagini, a motivo che i raggi, appartenenti ad ogni punto lucido, non si riuniscono ancora in un sol sito in modo da produrre un'unica impressione sulla membrana destinata a riceverla ed a trasmetterla alla sede dell'intelligenza; oppure non formano l'imagine sulla membrana medesima, ma s'intersecano dopo o prima di giungervi.

Il primo caso dipende da un occhio mal conformato o dall'obliquità eccessiva dei raggi lucidi relativamente all'asse dell'occhio. Il secondo dalla troppa vicinanza o allontananza dell'oggetto. L'uno si rende palese con una lente attraversata da raggi molto obliqui all'asse, l'altro si mostra nella scuola col mezzo dell'occhio artificiale (§. 887). Si prenda per oggetto la fiammella d'un cerino, che si colloca davanti all'occhio a tale distanza che l'imagine riesca distinta sul vetro appannato: portando ora il cerino a maggiore od a minore distanza, l'imagine riesce confusa. Nella prima posizione i raggi luminosi, cadendo sulla lente dell'apparecchio meno divergenti per la maggior distanza, sono riuniti nel globo dell'occhio prima di giungere sul vetro appannato, e quando vi giungono si sono già separati e producono la confusione nell'imagine. Al contrario nella seconda posizione, i raggi hanno maggior divergenza, e giungono sul vetro appannato prima d'aver prodotto, colla loro riunione, l'imagine, e quindi succede la confusione. Per ottenere distinta l'imagine bisognerebbe o spingere dentro il globo dell'apparato il vetro smerigliato, oppure portarlo più in fuori.

Quest'esperimento c'insegna che, venendo i raggi luminosi a riunirsi sul fondo dell'occhio dell'uomo, le imagini degli oggetti dovrebbero riuscire distinte soltanto ad una data distanza, ed al di là o al di qua della quale nascere la confusione. Il fatto mostra invece che vediamo gli oggetti coll'eguale distinzione portati a distanze dif-

ferenti. Noi riconosciamo l'amico alla distanza di 5, di 10, di 20 ed anche di 100 e più passi. È bensì vero che, quando esso è più vicino, ne distinguiamo meglio i lineamenti, occupando allora la sua imagine uno spazio più ampio nell'occhio, e quindi si ha distinzione maggiore delle sue parti (§. 893). Ma a quelle differenti distanze l'imagine ha, per riguardo alla riunione dei raggi luminosi, la stessa distinzione, e quantunque sia ingrandita, non cessa d'essere distinta. Dunque in ognuno di questi casi la riunione dei raggi succede sulla retina, cioè sopra una superficie che dovrebbe essere capace di cambiare la sua distanza dal centro dei mezzi rifrangenti.

Per ispiegare il fenomeno alcuni fisici opinarono che l'occhio abbia la facoltà di allongarsi e di raccorciarsi collo schiacciarsi più o meno secondo le circostanze; altri invece, che il cristallino possa essere portato più avanti ed indietro per mezzo dei processi cigliari. La prima ipotesi sembra in contraddizione colla natura della sclerotica, la quale ha tale consistenza da non essere suscettibile di cambiamenti così svariati. D'altronde i processi cigliari, non essendo muscolari, pare che non siano dotati dell'attitudine che loro si vorrebbe attribuire. Vi ha chi considera l'iride come un organo muscolare capace di cambiare la convessità del cristallino per avere sempre l'intersecamento dei raggi luminosi sulla retina. L'opinione poi che la sede dell'imagine sia nell'umor vitreo (§. 890), spiegherebbe facilmente la visione distinta a diverse distanze. Qualunque sia però il magistero della natura in questo importante fenomeno della visione, l'esperienza c'insegna che noi proviamo uno sforzo, allorchè osserviamo un oggetto posto ad una distanza molto più grande o più piccola di quella per la visione alla distanza ordinaria.

La distanza ordinaria ad un occhio ben conformato, per la visione distinta dei piccoli oggetti senza alterare il suo stato naturale, si valuta di 22 in 26 centimetri, e da qualche fisico anche di 30 e più centimetri secondo le diverse viste. Ma per la vista comune si ritiene quella di 22. È stato imaginato uno strumento conosciuto sotto il nome di *ottimetro*, col quale si misura la distanza della visione distinta pei diversi occhi, di cui faremo cenno più avanti parlando degli strumenti ottici che sussidiano la visione. Osserviamo infine, intorno alla distanza cui si estende la visione, che, se l'occhio dell'uomo è mirabile a questo riguardo, deve esserlo molto di più quello di alcuni uccelli di rapina, i quali dall'alto dell'atmosfera scorgono degli animaletti sulla superficie terrestre e piombano sopra di loro senza mai perderli di vista.

895. Ognuno può aver osservato che l'effetto della luce sull'occhio dura per qualche tempo, quantunque sia cessata la causa da cui sia stato prodotto. Allorquando si fa girare rapidamente un tizzone ardente, si vedono contemporaneamente tutti i punti della zona percorsa dalla parte infuocata. I punti della periferia dunque rimangono ancora visibili quantunque siano stati abbandonati dal tizzone. Parimenti, facendo girare un bottone di metallo o altro corpo appeso ad un filo tenuto per l'altra estremità che serve di centro di rivoluzione, si vede un circolo continuo invece d'un oggetto isolato. Osservando fissamente una finestra d'un appartamento e rivolgendo l'occhio con destrezza sull'ombra di un muro, si giunge con una certa abitudine a vedere per qualche istante ancora la finestra sul muro medesimo, quantunque l'occhio sia stato distolto dall'oggetto.

Apprendiamo quindi da questi ovvii esperimenti che l'impressione della luce sopra l'organo della visione non è tanto fuggitiva come forse si crede. Se il movimento circolare del tizzone è lento, allora non comparisce la zona luminosa da esso percorsa; giacchè l'impressione sull'occhio, fatta dal tizzone nei punti percorsi, si è dissipata prima che questo ritorni in ognuno dei medesimi. Ma quando il moto è celere e la parte ardente del tizzone ritorna in ogni punto prima che abbia avuto tempo di essere annullato l'effetto della luce, allora la sensazione luminosa continua sull'occhio ed apparisce la zona di luce. Guardando attraverso una lastra di vetro colorato e levando poscia dagli occhi la lastra stessa, gli oggetti circostanti posti all'ombra ci compariscono per alcuni istanti ancora colorati. Quantunque sia scomparsa l'imagine dall'occhio, noi vediamo ancora per un certo tempo gli oggetti da cui fu prodotta, e l'imagine apparente, che in tal caso si presenta, si è distinta col nome di *spettro oculare.*

La durata dell'impressione sul nostro occhio, dopo scomparsa l'imagine, si dimostra nella scuola con un apparato apposito, che può servire eziandio a valutarla. Un disco di lamina d'ottone è attraversato pel centro da un asse, intorno al quale si fa girare verticalmente coll'aiuto di ruote a denti od a cingoli, in maniera che la rotazione si faccia con una certa celerità. Il disco ha praticato verso il suo lembo un foro ovale di grandezza eguale alla fiamma d'una candela, la quale è disposta in modo che in una data posizione corrisponde al foro. Facendo girare lentamente il disco, lo spettatore situato dalla parte opposta vede la fiamma ad intervalli, cioè quando il foro nella rotazione si trova sulla stessa retta guidata dalla medesima all'occhio. Aumentando gradatamente la velocità, si giunge ad un punto, in cui

la fiamma non è più veduta interpolatamente, ma apparisce all'occhio in un modo continuato e stabile, quantunque essa resti realmente occultata per tutto quel tempo che vi ha interposta la parte solida del disco. In questo caso sembra che il disco sia in quiete col foro sempre nella posizione corrispondente alla fiamma della candela. Determinando quindi la minima velocità di rotazione del disco per conseguire la visione permanente della fiamma, si troverà il tempo in cui dura l'impressione prodotta sull'occhio. La durata dello spettro oculare varia secondo la sensibilità dell'occhio e secondo la forza del corpo lucido. Per un occhio allo stato normale e per un oggetto illuminato si valuta una tale durata di 8 minuti terzi, ossia poco più di $\frac{1}{8}$ di minuto secondo. La luce d'un vivo carbone ardente alla distanza di 70 metri, mantiene la sua impressione sulla retina, che è stata trovata di $\frac{1}{7}$ di minuto secondo.

Da questo principio dipende lo strumento appellato *taumatropio*, nome i cui radicali traggono origine dal greco e significano *giro meraviglioso.* Si abbia un cartone o una lamina metallica, di forma circolare del diametro di 6 in 7 centimetri, che si appende per l'orlo ad una funicella o corda di minugia alla foggia del pendolo. Si torce per parecchi giri la funicella e poscia si abbandona a se medesima, tenendola tesa per mezzo d'un contrappeso attaccato all'estremità opposta del diametro del disco di carta o di metallo. Il disco concepisce in tal modo un celere movimento di rotazione intorno al diametro verticale; talchè, trovandosi sulle sue facce dipinte delle figure qualunque, queste appariscono contemporaneamente all'occhio pel principio su esposto. Se quindi sopra un lato del cartone o della lamina è rappresentata la gabbia e sull'altro l'uccello (fig. 139), comparisce nella rotazione l'uccello in gabbia. Le figure si possono variare a piacimento, sopra una superficie del disco dipingere, per es., un fabbricato senza tetto e sull'altra il tetto corrispondente; nella rotazione apparisce all'occhio il fabbricato col rispettivo tetto.

Il taumatropio è stato variato eziandio in altre maniere, una delle quali sono i così detti *dischi ottici*, che si trovano in società e sorprendono sempre chi li vede per la prima volta e non conosce i principii della scienza da cui dipendono. Essi consistono appunto in dischi di cartone del diametro di circa 30 centimetri, che hanno dipinto in cerchio sopra una delle superficie le diverse e successive posizioni di un dato movimento, per es., quello di due fanciulli che fanno l'al-

talena. La prima figura rappresenta il punto in cui ambidue i fanciulli si trovano all'egual altezza; la seconda il punto in cui il primo si è un poco abbassato e il secondo rialzato; la terza un abbassamento maggiore in quello e il corrispondente rialzamento in questo; la quarta quando il primo tocca coi piedi la terra e il secondo è giunto alla massima elevazione; la quinta esprime il ritorno alla figura precedente. In tal modo progrediscono le figure sino a riempiere una zona circolare del disco con distanze sempre eguali. Il disco è obbligato pel suo centro ad un perno, attorno a cui può girare, ed ha praticato verso il suo lembo delle aperture. Collocandolo dirimpetto ad uno specchio colle figure così dipinte, queste si vedono per riflessione attraverso le aperture poste verso la periferia. Ora s'imprima al disco un moto di rotazione: in questo caso si presenteranno all'occhio quelle figure e vi dipingeranno successivamente le loro imagini. Ora quando una di quelle imagini giunge a colpire la retina, non è ancora sfuggita l'impressione della precedente, secondo il principio esposto; perciò sembra all'occhio che questa prenda la posizione della successiva, ed apparisce così nel nostro caso il movimento dell'altalena delle due figure dipinte. Nello stesso modo si rappresenta il movimento d'un individuo che suona il contrabasso, di due persone che fanno il valse, di due lavoratori che battono il ferro sull'incudine, di un uomo che a cavallo cammina di trotto e parecchi altri di simili moti Questi dischi sonosi anche distinti col nome di *fantoscopi* e di *stroboscopi*.

396. Dopo aver mostrato come si opera il mecanismo della visione e quali siano le circostanze da cui è accompagnata, passiamo a parlare come alla semplice vista giudichiamo dello stato dei corpi, vale a dire dei loro *colori*, della loro *posizione* e *forma*, della loro *grandezza* e *distanza* e infine dei loro *moti*. Il modo con cui i corpi si presentano all'occhio costituisce il loro *stato apparente*, il quale può differire talvolta da quello reale, guidarci ad un falso giudizio e dar luogo alle *illusioni ottiche*.

I filosofi dell'antichità possedevano delle idee erronee intorno ai colori naturali dei corpi: Platone credeva i colori come prodotti da una fiamma che scaturisce dai corpi; Aristotele li riguardava come una mescolanza del nero col bianco. Dai filosofi i più antichi bisogna venire sino all'epoca, in cui nacquero e si estesero i fenomeni della diffrazione scoperti da Grimaldi e quelli della dispersione iniziati da De-Dominis e sistemati in corpo di dottrina da Newton, per riscontrare delle idee più consentanee colla verità sui colori

naturali, i quali stanno riposti non nei corpi, ma bensì nella luce da essi riflessa o trasmessa.

La proprietà dei corpi d'avere questo o quel colore, consiste nell'inviare all'occhio soltanto alcuni dei raggi componenti la luce bianca da cui sono illuminati, assorbendo o disperdendo gli altri raggi per differente direzione. Nei corpi quindi non esistono propriamente i colori, ma essi hanno soltanto la proprietà di mandare all'occhio i raggi luminosi dai quali sono prodotti. Il carminio è rosso in causa ch'esso riflette in abbondanza un tal raggio ed assorbe la maggior parte degli altri. L'oro è giallo per assorbire i raggi elementari della luce ad eccezione del rosso e del verde, i quali formano appunto il color giallo (§. 810). Parimenti la soluzione di tintura di tornasole è violacea tanto per riflessione quanto per trasmissione, per aver questa materia la proprietà di assorbire i raggi elementari della luce bianca e di riflettere soltanto porzione del violaceo, trasmettendo l'altra porzione a traverso la soluzione medesima. In quest'ultimo caso il raggio violaceo della luce bianca incidente, rimasto libero, è in parte riflesso e in parte trasmesso, sapendosi che la rifrazione o la trasmissione a traverso le materie rifrangenti è sempre accompagnata dalla riflessione (§. 773).

Siccome i colori naturali dei corpi dipendono dai raggi della luce, da cui sono rischiarati; così nelle tenebre o nei luoghi privi di luce essi spariscono. Infatti, dove non havvi luce non si manifestano colori, e il bel manto del fagiano della Cina, la vaghissima coda del pavone, e i più vivaci dipinti del pennello di Tiziano, quando non sono rischiarati dalla luce del giorno, non differiscono dal manto e dalla coda d'una gallina comune e da una tela scarabocchiata alla carlona dal pennello del maestro Scopa. I corpi perciò sono neri quando assorbono tutti i raggi della luce da cui sono rischiarati; bianchi al contrario quando la riflettono in tutto o in parte senza decomporla nei suoi raggi elementari. Ma se i corpi neri assorbono la luce, come mai li vediamo? Primieramente si osservi che nessun corpo è nero a tutto rigore di termine, riflettendo o poco o tanto qualche parte della luce che lo rischiara, per cui riesce più o meno oscuro o bruno. D'altronde ne vediamo il contorno che confina il corpo nero con quelli lucidi, e tutta la sua superficie, restando buia, si distingue dai corpi circostanti e ci sembra di vederla. Infatti sopra un cartone si disegni un cerchio e se ne annerisca con inchiostro l'interna superficie; accanto ad esso se ne tagli un altro eguale in maniera che il cartone sia traforato.

Si collochi il cartone così preparato in posizione che non abbia dietro di sè alcun oggetto illuminato, e si guardi che appariranno i due cerchi egualmente neri, senza poter distinguere l'uno dall'altro.

È un errore dunque nel comun linguaggio di riguardare il *bianco*, il *nero* e il *grigio* come colori: imperciocchè il primo altro non è che luce affatto incolora tramandata all'occhio dagli oggetti rischiarati; il secondo risulta dalla privazione di luce e quindi d'ogni raggio colorato; infine il terzo ci offre l'esempio d'un corpo, di cui alcuni punti inviano a noi del lumico bianco senza decomporlo, ed altri non ripercuotono verun raggio luminoso. Quest'ultimo caso si ottiene formando uno strato composto di polvere nera e bianca. Esponendo però questo strato ad una luce molto viva, i punti bianchi possono fare tale impressione sulla retina da scomparire quelli neri dove havvi assenza di luce riflessa, e riuscire in tal modo la superficie come interamente bianca. Imperciocchè, quando più oggetti agiscono contemporaneamente con forze molto differenti sulla retina, l'impressione più grande eclissa l'altra molto debole, e si ha la percezione soltanto della prima.

Per meglio convincersi che i colori non risiedono nei corpi ma nei raggi inviati all'occhio, s'istituisce nelle scuole la seguente sperienza: sopra un oggetto posto nella camera oscura si fanno cadere successivamente i colori ottenuti col prisma (§. 807) o parecchi dei medesimi ad un tempo; qualunque sia la tinta dell'oggetto alla luce del giorno, esso comparirà del colore dei raggi luminosi. da cui è percosso, mostrando un colore più vivo quando è colpito dai raggi omologhi al colore che gli è proprio alla bianca luce solare. Un brandello di *drappo scarlatto* apparirà verde sotto il raggio verde, turchino sotto quello turchino del prisma e così degli altri, e sotto il raggio rosso mostrerà un colore di maggior vivacità, per essere questo raggio prismatico omologo a quello che ripercuote sotto la bianca luce solare. Lo stesso accade col *cinabro,* che è di un rosso un poco differente dal drappo scarlato; come pure con una *foglia verde* di vegetale; con una *moneta d'oro*, con un *fiore* di qualche colore e simili. Se il cinabro, la foglia vegetale e simili fossero corpi che comparissero alla luce bianca dei colori rosso e verde ecc. esattamente eguali a quelli prismatici, essi sarebbero oscuri o neri quando sono ripercossi dai raggi prismatici differenti dal loro colore naturale. Ma i corpi, oltre riflettere in abbondanza il raggio colorato proprio alla loro natura, riverberano più o meno eziandio degli altri colori elementari unitamente a luce bianca.

I corpi luminosi poi compariscono del colore proprio della luce che irradiano, come si riscontra nei fuochi artifiziali. La pirotecnia insegna le mescolanze per ottenere colla combustione molti differenti colori e produrre di notte molti effetti brillanti d'illuminazione colorata. Che se un corpo è per se stesso dotato di luce d'un dato colore e ne riceva altra differente, comparirà del colore risultante dalla mescolanza.

897. I raggi colorati riflessi dai corpi mostrano le stesse proprietà di quelli prismatici; talchè per riflessione un raggio colorato si separa dagli altri della luce bianca come colla rifrazione. Infatti, mentre i raggi prismatici riuniti formano la luce bianca, nello stesso modo i raggi colorati riflessi, condotti a fare contemporaneamente una sensazione sull' occhio, producono l'effetto della luce bianca. In prova di ciò serve l'esperienza seguente: si dipingano i colori prismatici sopra un disco circolare secondo l'ordine che hanno nello spettro e in modo che occupino successivamente dei segmenti di settore, le cui superficie siano proporzionali agli spazi dei colori medesimi (§. 807), tingendo di nero il cerchio centrale. Si dispone il disco sopra un asse, al quale si possa facilmente imprimere un movimento di rotazione. Quando si fa girare con sufficiente velocità, le impressioni successive dei colori riflessi, perdurando sulla retina per qualche tempo (§. 895), vi producono una sensazione eguale alla risultante delle medesime e quindi quella del bianco se i colori siano eguali a quelli prismatici, e perciò la superficie del disco comparisce bianca. Generalmente il bianco che ne risulta non è del bel chiarore della luce solare, perchè coll'arte è difficile imitare i colori prismatici della natura. Operando in simile modo si ottiene la luce bianca coi colori della luce polarizzata (1).

L'esperimento descritto è dovuto in origine a Leonardo da Vinci, il quale aveva già preveduto che il bianco altro non è che un'unione di colori. Egli ne ebbe l'idea dalla rapida rotazione d'un globo intorno al suo asse dipinto sulla superficie con colori differenti, il quale compariva biancastro per la ricomposizione delle impressioni dei colori nell'occhio (2). Si possono dipingere, sulla superficie del disco o del globo, soltanto due o tre e più colori, per avere nella rotazione delle sensazioni di colori composti dei medesimi. Queste sperienze si eseguiscono facilmente dipingendo a vari colori dei piccoli dischi, che si fanno girare sopra perni, come la trottola.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVIII, pag. 53.

(2) Si vegga l'*Elogio di Newton* scritto da Frisi. Milano pag. 53-54.

I raggi colorati ottenuti per riflessione sono più o meno rifrangibili nello stesso ordine di quelli prismatici (§. 808). Infatti si divida la superficie d'una lastra di latta o un cartone in due parti eguali, si dipinga l'una di rosso e l'altra di azzurro, e si faccia cadere sulle medesime un fascio di luce prodotto da due o tre lumi convenientemente disposti, i cui raggi rossi ed azzurri riflessi si ricevano sopra una larga lente di convergenza. Si formano due imagini, l'azzurra ad una distanza minore dalla rossa: talchè, nel sito dove l'imagine azzurra comparisce nitida e distinta, l'imagine rossa riesce confusa e non ben definita. Ma, allontanando successivamente il piano su cui cadono le imagini, si osserva che la rossa si fa gradatamente più netta, mentre l'azzurra diventa confusa; e quando la prima ha acquistato la massima distinzione, la seconda si è intorbidata. Da ciò si apprende che i raggi azzurri, ottenuti per riflessione, sono al pari di quelli avuti per rifrazione col prisma più rifrangibili dei raggi rossi, per cui si riuniscono prima di questi e formano l'imagine azzurra più vicina alla lente di quella rossa. Parimenti, dipingendo in linea retta l'uno in seguito all'altro due parallelogrammi, rispettivamente di color rosso ed azzurro, ed osservandoli pel prisma con l'angolo rifrangente rivolto all'ingiù, l'azzurro apparisce più abbassato di quello rosso, il che prova la maggior rifrazione subita dal primo che dal secondo. Da ciò si apprende facilmente come, nell'osservare a traverso il prisma un quadrato nero sopra un fondo bianco, esso apparisce ad un'estremità rosso ed all'altra violaceo. Parimenti una piccola striscia di carta bianca, della larghezza, p. e., d'un millimetro, posta sopra un fondo nero e veduta a traverso al prisma, presenta i colori dello spettro. Che se la carta bianca ha una sufficiente grandezza, risulta a traverso al prisma colorata soltanto alle estremità e bianca nel mezzo; perchè i colori intermedii si sovrappongono e formano la bianca luce.

I colori dei corpi ottenuti per trasmissione hanno pure l'eguale proprietà dei prismatici. Si riempiano tre bocce; l'una di soluzione di cociniglia, *rossa*; l'altra di soluzione idroclorica di rame, *verde*; e la terza di soluzione ammoniacale, *violacea*. Si rischiarino ciascuna con un lume e si ricevano i raggi ch'esse trasmettono sopra una lente, la quale li concentrerà nel suo fuoco producendo nel mezzo un circoletto di luce bianca.

898. I corpi opachi dunque ricevono i colori dai raggi che riflettono nell'occhio, e quelli trasparenti, veduti di fronte, sono pure colorati per luce riflessa. Questi ultimi però, osservati a traverso la

luce da cui sono rischiarati, compariscono talvolta di colore differente da quello che presentano per luce riflessa. I vetri d'ordinario mostrano il colore di cui sono tinti tanto per luce riflessa quanto per quella trasmessa. Il vetro azzurro comparisce per riflessione e per trasmissione azzurro, e così l'altro rosso osservato nei due modi apparisce del medesimo color rosso. Le due lastre, sovrapposte, comparirebbero opache se i due colori fossero esattamente omologhi a quelli prismatici corrispondenti. Siccome ciò si verifica ben di rado e d'altronde ciascuna lastra dà sempre passaggio ad un poco di luce bianca mista col raggio colorato; così per trasmissione si ha un colore differente da quello, che hanno separatamente i due vetri. È appunto per questa ragione che due lastre di vetro, l'una rossa e l'altra azzurra, possono, sovrapposte, dare dalla parte di questa per trasmissione il colore violaceo; ed una rossa e l'altra gialla il colore aranciato. L'artista Consoni mi ha preparato delle lastre colorate di vetro, che sovrapposte presentavano per trasmissione il bianco ed il nero. Un vetro *verde* accoppiato con uno *rosso* dava il bianco sbiadito eguale a quello d'una lastra affumicata, ed uno *giallo* con altro *violaceo* presentavano l'egual effetto. Mentre altre riunite diventavano opache. Questi fenomeni non dipendono dalla dottrina delle mescolanze dei colori prismatici, ma bensì dai principii su esposti.

La tintura di tornasole, che è violacea, e quella d'ambra, che è gialla, poste in caraffe quadrangolari accoppiate diventano opache. Da ciò si conchiude che la prima è attraversata dal solo raggio violaceo, che è arrestato dalla seconda; e viceversa questa dà adito al solo raggio giallo, che viene intercettato dall'altra; non comparisce quindi luce per trasmissione e si ha l'opacità. L'oro ridotto in sottili ed esili foglie comparisce di color giallo per luce riflessa e verde azzurrognolo per luce trasmessa. Parimenti la tintura di legno nefritico è rossa per trasmissione ed azzurra per riflessione. L'infusione dei fiori d'iride, mentre è rossa colla luce riflessa, risulta tinta d'un vago colore tra l'indaco e l'azzurro per quella trasmessa. Al contrario lo spirito di vino tinto coll'oricello, mentre è attraversato dai raggi rossi ed assorbe gli altri, ne riflette eziandio alcuni dello stesso colore ed appare egualmente rosso guardato nell'una e nell'altra maniera.

La soluzione acidula di chinino, ossia una parte in peso di chinino sciolta in 100 di acqua con una o due gocce d'acido solforico, si presenta azzurra per riflessione, ma per trasmissione è bianca; per cui, mentre essa riflette un solo raggio colorato, ha la proprietà di

lasciare adito a parte di questo raggio ed agli altri in proporzione per formare la luce bianca. Al contrario, una sottile lamina di marmo di Carrara è giallognola per trasmissione e bianca per riflessione. Questi corpi non si riscontrano così frequenti, quando invece si trovano parecchi esempi di quelli che appariscono di color differente osservati per riflessione e per trasmissione, offrendo un fenomeno consimile al *dicroismo*, di cui ci siamo altrove intrattenuti (§. 878).

899. La natura presenta una grandissima moltitudine di tinte: imperocchè i corpi riflettono in diverse proporzioni i colori elementari mescolati con quantità più o meno grande di luce bianca indecomposta, dando luogo per tal modo ad un indefinito numero di miscugli diversi dilavati in differenti proporzioni dalla luce bianca, per cui si produce un' indefinita gradazione di tinte più o meno sbiadite. Gli artisti in mosaico di Roma si dice che contino 62 mila gradazioni di tinte, colle quali possono dare alle loro opere quelle sfumature colorate e quegli sbattimenti da stare al confronto coi più bei lavori della pittura.

Levando alla luce qualcheduno dei suoi colori elementari o alterandone le proporzioni, si altera la sua bianchezza. Levando, per es., il rosso allo spettro prismatico e riunendo gli altri colori elementari, si ottiene una tinta cerulea od azzurrognola, la quale mescolata col rosso riproduce ancora il bianco. Più volte si è avuto occasione di vedere questa riproduzione, nella quale i due colori si dicono *complementari* l'uno dell'altro, e tutti hanno il loro complementario. Nell' esperimento di colorazione altrove descritto (§. 861) compariscono due imagini, l'una rossa e l'altra verde, che sono complementarie. Abbiamo designato le imagini con tal nome pel colore che in esse predomina: ma in vero la tinta della prima risulta di rosso ricongiunto con un poco di violaceo, e quella della seconda di verde mescolato con un poco d'azzurro; per cui, contenendo i tre colori primitivi della luce bianca (§. 810), esse riescono complementarie l'una dell'altra. In generale si apprende dalle sperienze istituite coi raggi prismatici che la maggior parte dei *verdi* hanno per colore complementario dei colori *violacei* più o meno *rossastri*, e i *gialli* dei colori *indaco* più o meno *violacei*. Inoltre se ad un colore qualunque si aggiunge più o meno quantità di luce bianca, cambia la sua apparenza e presenta delle differenti gradazioni, le quali però rimangono sempre il complementario della medesima tinta. I colori dunque che hanno lo stesso complementario possono essere differenti fra loro per la quantità di luce bianca in cui sono dilavati. Si è ve-

dato che i colori intermedii ai tre primitivi rosso, verde e violaceo, per compiere i sette distinti da Newton, si hanno colla mescolanza in diversa proporzione dei tre primitivi medesimi (§. 810). Nello stesso modo si hanno altre gradazioni mescolando due contigui dei sette: così il *rosso* e l'*aranciato* danno un *aranciato rossastro* ossia più vicino al rosso. In generale due colori distanti d'un ordine nei sette di Newton danno nella loro mescolanza il colore da cui sono separati. I due estremi *rosso* e *violaceo* generano una specie di *color porporino*, che differisce sensibilmente dal violaceo. Si apprende dunque che i colori prismatici mescolati in diverse proporzioni fra loro e colla luce bianca producono, come si riscontra nei colori naturali dei corpi, un infinito numero di gradazioni di tinte.

Da quanto si disse sulla colorazione dei corpi si comprende facilmente che *colore* dinota un'idea differente da *materia colorante*. Il primo vocabolo esprime propriamente la sensazione definita fatta nell'organo della visione, e l'altro la materia atta a riflettere il fluido luminoso e ad imprimere sulla retina una tale sensazione. Allorchè si mescolano assieme due materie coloranti, il composto acquista un nuovo colore, che in parecchi casi è quello risultante dalla combinazione dei raggi riflessi da ogni singola materia, e il pittore può in tal maniera trarre profitto dai principii dell'ottica. Siccome il vero posto, che occupano i colori dei corpi nell'ordine di quelli prismatici, non è così facile ad essere esattamente definito; così l'arte di comporre i colori colle diverse materie è quasi interamente appoggiata all'esperienza. I colori naturali dei corpi, esaminati col prisma, si trovano per la maggior parte composti. Nel rosso del cinabro si scorge del giallo; dalla tintura dell'indaco si sviluppa del verde. Alcuni scrittori si sono studiati di ridurre a regole fisse l'arte di fare i colori, e si sono preparate le proporzioni binarie, ternarie, quadernarie, come pure i composti triangolari, piramidali, sferici per ottenere le diverse tinte (1). Queste regole però sono assai limitate, e non si verifican del tutto quando fra le materie coloranti, che si riuniscono assieme, vi ha azione chimica, per la quale scomparisce affatto la natura dei componenti. Egli è perciò che l'arte tintoria non va sempre d'ac-

(1) Su questo argomento si possono vedere i libri: *Rungs Farbenkugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander*. Amburgo 1810; come pure *Il triangolo dei colori* nell'opera di Mayer *De affinitate colorum*. Gottinga 1775.

cordo colla dottrina fisica della colorazione e colle regole date da Newton per le gradazioni delle tinte risultanti dalla mescolanza dei colori prismatici. In quell'arte si ritengono per colori primitivi il *rosso*, il *giallo* e l'*azzurro*; e il color *verde* si ottiene dalla mescolanza di *materie gialle ed azzurre*, e il *violaceo* da quella di materie *rosse ed azzurre*. Ora questo si verifica anche nella dottrina dei colori prismatici, ammettendo che i primitivi siano tre, cioè *rosso*, *verde* e *violaceo* (§. 810); giacchè i colori giallo ed azzurro, essendo composti, il primo di *verde* e *rosso* e il secondo di *verde* e *violaceo*, nella loro mescolanza danno il bianco con eccedenza dell'elemento predominante, per cui si ha il verde. Lo stesso si dica della mescolanza del rosso coll'azzurro.

900. I colori per trasmissione dipendono non solo dalla natura del corpo, ma ben anche dalla sua grossezza, ossia dallo strato più o meno grosso che la luce deve attraversare, e ciò in causa dell'assorbimento, di cui si è parlato (§. 830). Accoppiando due soluzioni, che separatamente manifestano un dato colore per trasmissione, riescono ancora colorate quando sono in sottili strati, ma diventano opache ad una certa grossezza, non dando passaggio a verun raggio luminoso. Osservisi inoltre che i due colori prodotti dallo stesso corpo per riflessione e per trasmissione, dovrebbero essere l'uno complementario dell'altro, se nel passaggio della luce non vi fosse assorbimento. Ma il giallo non è complementario del verde nei colori manifestati dalle sottili foglie d'oro (§. 898); per cui vi ha in questo caso assorbimento.

Allorquando si guarda attraverso ad una lastra di vetro colorato, per es., in azzurro, gli oggetti circostanti compariscono tutti azzurri; ma essi sono più o meno visibili secondo che il loro colore proprio alla luce bianca si accosta a quello del vetro. Quelli che sono più distanti dal colore azzurro appariscono confusi, riescendo soltanto visibili per la poca luce bianca che riflettono assieme al raggio del loro colore. Talchè se la lastra ha una certa grossezza, quel poco azzurro della luce bianca viene assorbito e gli oggetti non sono più visibili.

901. Molti corpi opachi appariscono sempre d'egual colore da qualunque parte siano riguardati; ve ne sono però altri, i quali sono iridescenti e cambiano di colore al cambiare la posizione dell'occhio. Lo stesso avviene eziandio per trasmissione variando il colore secondo la posizione da cui si osserva il corpo. L'*iridescenza* dei corpi dipende dal principio delle interferenze, ed è un fenomeno di diffrazione somigliante a quelli altrove descritti (§. 828).

Tutti i colori delle superficie rigate provengono dai raggi riflessi dei due orli dei solchi di cui sono fornite. Tali sono i colori della madreperla e delle elittre di alcuni insetti, di cui prendendo l'impronta colla cera se ne imitano le apparenze. In tal modo l'arte ha imitato la natura costruendo i bottoni iridescenti fatti di metallo sulla cui superficie sono tracciati tanti finissimi solchi paralleli, pei quali si produce l'interferenza della luce riflessa e si genera l'iridescenza (1). Questi solchi, che sono naturali alla madreperla, si sono trasportati su lamine d'argento colla deposizione del metallo procurata dalla corrente elettrica nel modo che insegneremo in altro capitolo formando così *l'argento iridescente* (2). Alla categoria di questi fenomeni appartengono le indagini di Fusinieri sui colori che acquistano le superficie dei metalli riscaldati (3).

Per trasmissione si hanno pure eguali fenomeni, di cui si ha la prova nelle *reticole iridescenti*, che sono formate di lastre di vetro con finissimi solchi paralleli e che, guardate per luce trasmessa, presentano i colori prismatici (§. 827). Negli scavi fatti l'anno 1809 per l'adattamento della piazza del duomo di Milano, si sono trovati alcuni cubi di vetro, che acquistarono la proprietà d'essere iridescenti per opera della natura e di cui ha parlato il cav. Bossi (4).

902. La colorazione dei corpi o la proprietà che essi hanno di riflettere e di trasmettere, come pure di diffrangere e di assorbire in tutto o in parte i raggi luminosi, dipende dunque dalla diversa natura della materia. Quantunque non si possa indicare in che consista questa proprietà pei diversi corpi, è però certo che la disposizione delle molecole vi ha gran parte. Senza estenderci sulle ipotesi imaginate da Newton e dai fisici posteriori su tale disposizione, riporteremo alcuni fatti che provano la parte che essa deve avere nella produzione di questi effetti.

Il *sego allo stato solido è bianco*, ma esso diventa *turchino* quando si fonde, con cui altro non si opera che un cambiamento di posizione nelle sue molecole. Il *fosforo*, ottenuto da Thénard per mezzo di ripetute distillazioni, è *limpido* e *trasparente* allo stato liquido: ma trasformato prestamente in *solido* versandolo in acqua gelida, esso

(1) *Annali di tecnologia*, t. II, Milano 1826.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVIII, pag. 133.

(3) Si vegga la Memoria di lui: *Ricerche sui colori che acquistano* ecc. nel *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli, decade II, t. II, pag. 145 e 319.

(4) Si vegga il *Giornale della Società d'incoraggiamento*, che si pubblicava in quella città.

diventa perfettamente *opaco* e *nero*, mentre acquista la sua ordinaria trasparenza lasciato raffreddare lentamente.

Nei nodi del legno di bambù si trova una concrezione silicea detta nel paese *tabashir*, la quale è trasparente ed ha per indice di rifrazione 1,111. Le più belle varietà riflettono un delicato color azzurro e trasmettono una tinta gialla pallida, che sarebbe il color complementario dell'azzurro. Venendo leggermente inumidita con una goccia d'acqua sospesa alla punta d'un ago o d'uno spilletto, la *parte umida* diventa istantaneamente *bianca di latte* ed *opaca*. L'applicazione di maggiore umidità la fa ritornare alla sua trasparenza primitiva. Il *camaleonte minerale* è una materia che si ottiene riscaldando assieme la potassa e l'ossido puro di manganese. Sciolto nell'acqua calda, il camaleonte cambia il color *verde* in *azzurro* ed in *porpora*.

In tutti questi casi vi ha un cambiamento nella disposizione delle molecole, il quale porta con sè una variazione nel colore. In parecchi processi chimici si riscontrano dei fenomeni somiglianti: il *cloruro di rame* secco è *bruno*, sciolto in poca quantità d'acqua conserva ancora una tale tinta, allungandone la soluzione con altr'acqua diviene *verde*, e diluendola maggiormente acquista il colore *azzurro-chiaro*. Esposta questa soluzione a diversi gradi di temperatura subisce diversi altri cambiamenti di colore, come ha verificato Bizio e qualche altro chimico (1). Il miscuglio d'*olio d'amandole dolci*, di *sapone* e d'*acido solforico*, secondo Glaubry, è dapprima *giallo*, poscia passa all'*aranciato*, al *rosso* ed al *violaceo*. Nel passaggio dall'aranciato al rosso il miscuglio sembra quasi *nero*. La *tintura di tornasole*, dopo essere stata tenuta chiusa per molto tempo in una boccia, prende il colore *aranciato*: ma esposta all'aria, aprendo la boccia, ed agitata, il liquido in pochi minuti diventa *rosso* e poscia *violaceo-azzurro*. L'*imbiancamento delle tele* dipende dagli stessi principii, come pure la formazione della *latta cangiante*, che per l'azione degli acidi acquista alla superficie le solcature, per le quali riesce iridescente. Lo stesso si dica di parecchi altri fenomeni consimili.

903. La natura offre al nostro sguardo il quadro più brillante di colori, che ogni giorno si dipingono sopra una gran tela per estinguersi verso la notte e riprodursi colle modificazioni le più sorprendenti al ricomparire del gran luminare sull'orizzonte. È un soggetto interessante, per chi è abituato a contemplare le opere della creazione, l'osservare quell'immenso quadro, dove il giorno rappresenta

(1) *Annali di chimica*, *fisica* ecc., t. XI, pag. 280 e t. XIV, pag. 67 e 290.

il *bianco*, riunione di tutti i colori, e la notte il *nero*, assenza compiuta dei medesimi. Il fondo è formato da un ampio inviluppo *azzurro* variato in mille guise dalle nubi, che rilucenti od oscure compariscono sull'orizzonte. All'*azzurro* dell'atmosfera fa un mirabile contrasto il *verde*, che offre l'immenso serbatoio delle acque dei mari. Gli alberi, i campi, le praterie presentano sui continenti un *verde* più puro, splendente nel mezzo di variopinti fiori, ai quali disputano il primo posto gli uccelli e gli insetti tanto per la loro varietà che per la ricchezza, spandendo alcuni di questi una luce che non ricevono dal cielo (§. 879). La natura è industriosa a produrre i più bei effetti colla più semplice causa: le variate gradazioni di tinte dei petali dei fiori, i colori cangianti delle penne d'un gran numero d'uccelli, delle scaglie di alcuni pesci, delle conchiglie d'una moltitudine di molluschi e parecchi altri fenomeni di colorazione sono prodotti dalla semplice differenza di grossezza della sottile membrana di cui sono ricoperti. Allorquando i fiori si sviluppano o si disseccano, gli animali passano dalla tenera età all'adulta, o non sono più nella stagione dei loro amori, si succedono i colori corrispondenti ad un aumento o ad una diminuzione di grossezza delle membrane integumentose, causa di tutti quegli effetti. La stessa natura presenta nei corpi i colori primitivi, i quali si trovano tutti ricongiunti nel *bianco* del diamante, mentre sono separati e distinti il *rosso* nel rubino, il *verde* nello smeraldo, il *violaceo* nell'amatista.

904. I colori naturali dei corpi si manifestano dunque nella loro varietà e nella loro vivacità per la luce solare, e quando gli oggetti sono rischiarati da una luce differente, i colori cambiano ed ha luogo l'*illusione ottica di colorazione* (§. 896). I corpi illuminati di notte da materie in combustione offrono all'occhio colori differenti da quelli che loro sono naturali alla bianca irradiazione solare, per essere quella luce di differente natura di questa (§. 812). Le pitture, mirabili di giorno pel vago loro colorito, perdono molto della loro vaghezza ed appariscono con tinte differenti rischiarate di notte dalla luce artificiale. Chi giudicasse dei colori dei tessuti e di qualunque altro oggetto anche alla luce di parecchie fiaccole, cadrebbe facilmente in errore. Le illusioni ottiche di colorazione si producono negli spettacoli teatrali con vetri di diversa tinta.

Siccome l'impressione sulla retina dura per un certo tempo; così possono accadere delle illusioni ottiche in causa dello *spettro oculare* (§. 895). La durata dell'impressione non è esattamente eguale per ogni raggio colorato, e questa va estinguendosi più presto per un

colore che per un altro. È appunto per ciò che, passando celeremente all'oscuro dopo aver guardato il sole, si vedono ad occhi chiusi successivamente degli spettri colorati. La sensazione luminosa, nello svanire, va in generale decrescendo tanto meno rapidamente, quanto più si approssima al suo fine. I differenti colori, in virtù della semplice luce del giorno, procurano delle sensazioni le quali, incominciando da quella più durevole, sono disposte nell'ordine seguente: *bianco, giallo, rosso, azzurro*. La durata totale, contata dall'istante in cui la sensazione ha acquistato tutta la sua forza, è in termine medio di circa 0",34. L'intensità di sensazione segue lo stesso ordine.

Allorquando le impressioni di due differenti colori si succedono alternativamente sulla retina, con una velocità insufficiente a produrre un'unica sensazione, si manifestano generalmente delle vive gradazioni di tinte estranee ai due colori impiegati ed a quello della loro mescolanza. Si può anche in questo modo produrre un bel bianco servendosi soltanto del giallo e dell'azzurro (1).

L'occhio, dopo aver ricevuto una forte impressione di qualche colore, si rivolga sopra una superficie bianca: questa non apparisce nè bianca, nè del colore verso cui era prima diretto lo sguardo, ma prende delle tinte differenti, che si chiamano *colori accidentali* di quello, dal quale l'occhio era prima colpito. Infatti, collocando un brandello di pannolano di brillante color rosso sopra un foglio di carta bianca e fissando l'occhio sul centro del rosso per un certo tempo, si vede, al momento che si riporta sulla carta bianca, una macchia circolare di colore *verde-azzurrognolo* delle stesse dimensioni del brandello di pannolano. L'imagine verde-azzurrognola è lo spettro oculare, e la sua tinta, che va gradatamente estinguendosi, è il colore accidentale del rosso. Ripetendo l'esperienza con oggetti differenti, si hanno degli spettri oculari i cui colori accidentali variano secondo quelli degli oggetti cui si riferiscono, dei quali Brewster dà il quadro seguente:

| *Colore dell'oggetto* | *Colore accidentale dello spettro oculare* |
|---|---|
| Rosso . . . . . | Verde-azzurrognolo. |
| Aranciato . . . . | Azzurro. |
| Giallo . . . . . | Indaco: |

(1) Su questi fenomeni può leggersi l'opuscolo: *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de la vue:* di Plateau. Liegi 1829.

| *Colore dell'oggetto* | *Colore accidentale dello spettro circolare* |
|---|---|
| Verde . . . . . | Violaceo-rossastro. |
| Azzurro. . . . . | Rosso-aranciato. |
| Indaco . . . . . | Giallo-aranciato. |
| Violaceo. . . . . | Verde-giallognolo. |
| Nero . . . . . . | Bianco. |
| Bianco . . . . . | Nero. |

Da questo quadro si ricava una regola pratica per trovare il colore accidentale di ciascuno di quelli dello spettro. Si disponga un compasso coll'apertura eguale alla metà della lunghezza dello spettro e, fissandone una delle punte sopra il dato colore, l'altra punta corrisponde al colore accidentale richiesto. Se il colore principale, che agisce sull'occhio, ha lo stesso grado d'intensità di quello accidentale, si trova che l'uno è complementario dell'altro, e sotto queste circostanze i colori accidentali si chiamano complementari.

Rimanendo l'occhio fisso per qualche tempo sul brandello di pannolano, una parte della retina è fortemente eccitata e in certa maniera paralizzata dall'azione continua dell'imagine rossa. La sensibilità per la luce rossa resta dunque diminuita, ed al momento che l'occhio passa dal brandello rosso alla carta bianca, la retina stessa, insensibile ai raggi rossi che fanno parte della luce bianca della carta, prova soltanto la sensazione della tinta proveniente da tutti gli altri raggi, che costituiscono la luce bianca, vale a dire un colore verde-azzurrognolo, che è il complementario del rosso. Quando l'oggetto è nero, la porzione della retina su cui cadrebbe l'imagine, invece d'essere stata soverchiamente eccitata, è rimasta in riposo per l'assenza di raggi luminosi; mentre tutte le altre parti, colpite dal bianco della carta, sono paralizzate. L'occhio pertanto vede, nella parte della retina cui corrispondeva il nero, un'imagine bianca, ed è per tal ragione che il bianco è il color accidentale del nero, ed all'inverso.

In tal maniera si spiegano i colori accidentali prodotti dalla luce debole riverberata dai corpi; ma quando l'occhio riceve la potente impressione dei raggi solari diretti o riflessi da uno specchio, allora si presentano dei fenomeni differenti, che variano secondo la sensibilità dell'occhio, la durata dell'impressione e l'intensità della luce.

905. Lo stato apparente degli oggetti offre delle illusioni ottiche più numerose e variate per riguardo agli altri differenti modi con cui essi si presentano all'occhio (§. 896). Quando colla vista giudichiamo giustamente dello stato dei corpi, si è perchè sin dall'infanzia ci

siamo abituati a correggere per mezzo dell'esperienza i nostri giudizi ed a saper valutare dalle apparenze la realtà. Chi ha l'attitudine di ben giudicare dello stato delle cose alla semplice vista, ha *buon occhio*. Che se in certi casi non è ancora stato istrutto dall'esperienza e non ha mezzi per verificare le sue percezioni, i giudizi possono essere erronei e dar luogo ad illusioni ottiche.

Noi giudichiamo della *figura* degli oggetti dalla situazione dei punti che inviano all'occhio dei raggi lucidi. Una linea retta quindi, situata nella direzione dell'asse ottico, non comparisce alla vista che un punto; un solido, che presenta all'occhio una sola faccia, sembra una semplice superficie. Quando la distanza è grande, non giungiamo a valutare ad occhio le piccole differenze delle lunghezze dei raggi visuali, e li giudichiamo tutti eguali. Per tal motivo una torre, veduta da lontano da un suo angolo, sembra una superficie piana; la luna un disco; un'ampia pianura un circolo, di cui l'occhio è il centro; il cielo comparisce incurvato a guisa d'una volta sferica.

906. La *posizione* degli oggetti è determinata dal prolungamento dell'asse del cono luminoso che giunge all'occhio. Consideriamo un sol punto R dell'oggetto: l'occhio lo giudica lungo l'asse OR del cono luminoso *a*R*b*, che entra nella pupilla (fig. 140). Questa regola è così generale che, se i raggi prima di giungere all'occhio hanno subìto qualche deviamento dalla direzione primitiva, riferiamo tuttavia il punto da cui derivano lungo il prolungamento dell'ultima linea da essi seguita nell'entrare nell'occhio, come si è altre volte notato (§. 739). Dunque gli assi dei coni o pennelli luminosi, che ciascun punto dell'oggetto invia nell'occhio, determinano la posizione apparente dei punti medesimi, la quale può differire dalla reale, il che accade quando i raggi dei coni medesimi hanno provato qualche deviazione nel pervenire all'occhio. Succede dunque l'*illusione ottica di posizione* quando il luogo apparente dell'oggetto differisce dal reale.

Da ciò si apprende che si hanno illusioni ottiche nella visione col mezzo degli specchi per riflessione e delle lenti per rifrazione, come più avanti meglio apprenderemo. In causa della rifrazione gli astri nel loro nascere e nel loro tramonto compariscono più elevati e si vedono, quantunque si trovino sotto l'orizzonte. Sia T un punto della terra, S il sole e TA l'orizzonte (fig. 141): la luce irradiante del sole S incontra l'atmosfera, ed a misura che si avanza verso la terra trova strati sempre più densi (§. 602), sicchè è rifratta accostandosi alle normali condotte sulle tangenti nei punti d'ogni strato, e giunge al-

l'occhio dell'osservatore sulla terra in T descrivendo la curva SBT. Riferendo noi gli oggetti sul prolungamento dell'ultima retta, che giunge all'occhio, si vede il sole in S' nella direzione della linea TS' e quindi elevato sull'orizzonte quantunque sia già tramontato. Un'altra illusione ottica di posizione dipende dal tempo, che impiega la luce a giungere dagli astri sino a noi, di cui si è fatto cenno (§. 741). I raggi luminosi quindi, che successivamente colpiscono l'occhio, sono partiti qualche tempo avanti, durante il quale, per la rotazione terrestre, l'osservatore ha percorso un certo spazio, ed al momento che ne riceve l'impressione riferisce l'astro lungo il prolungamento della retta e lo vede in un sito, dove più non esiste. È questo il fenomeno che gli astronomi chiamano *aberrazione degli astri, aberrazione delle stelle fisse.* Sia R un oggetto qualunque poco distante dal piano AB (fig. 142), sicchè guardandolo lo riferiamo sul piano medesimo, come succede della sommità della colonna di mercurio dei termometri e dei barometri, che si riferisce alla scala delineata sulla tavoletta contrapposta. Ora se l'occhio è in O', l'oggetto R o la sommità della colonna mercuriale si riferisce nel punto D, mentre quando l'occhio si trova in O è riferito nel punto C determinato dal prolungamento della perpendicolare OR sul piano AB. Quest'ultimo punto è il vero, ed osservando da O' si commette un errore di posizione eguale alla retta CD, il quale si chiama la *parallasse*, e CRD=ORO' l'*angolo parallattico*. Se è nota la distanza CR dell'oggetto R dal piano, e si chiami $x$ l'errore della parallasse CD ed $a$ l'angolo parallattico, si ha $x : d :: sen.\ a, cos.\ a$, da cui si ricava $x = d.\ tang.\ a$, cioè *l'errore della parallasse eguaglia il prodotto della distanza dell'oggetto dal piano per la tangente dell'angolo parallattico.* Sia la distanza CR dell'oggetto dal piano di 12 millimetri e l'angolo parallattico di 5°. 30', in questo caso è $x = 12\ tang.\ 5^o.\ 30'$,

ossia $log.\ x = log.\ 12 + log.\ tang.\ 5^o.\ 30'$, oppure $log.\ x = 0,0627582$, e per conseguenza $x = 1,16$ millimetri, che sarà l'errore della parallasse nell'esempio proposto.

Guardando un oggetto alquanto distante con un solo occhio, si commette facilmente un errore di posizione, giudicandolo più vicino o più lontano dal luogo, ove realmente esiste. Imperocchè i raggi, giunti all'occhio, hanno per la distanza poca divergenza, e riesce malagevole di conoscere il loro vero punto di concorso. Questa difficoltà sparisce quando si fa uso di ambidue gli occhi, cadendo allora il vero luogo dell'oggetto nel punto dove s'intersecano gli assi ottici. L'occhio destro A vede l'oggetto lungo la retta A$a$ ed il sinistro B

lungo la $Bb$, per cui coi due occhi si vede in O, dove i due assi ottici s'intersecano (fig. 143). Il vantaggio che si ritrae nella visione usando ambidue gli occhi, è dimostrato dall'esperienza seguente: Si sospenda un anello ad un filo e si collochi a qualche distanza così situato da essere un suo diametro parallelo allo sguardo dell'osservatore. Si abbia una pertica della lunghezza di 2 in 3 metri, ad una cui estremità è congiunta a squadra una piccola bacchetta: prendendo la pertica per l'estremità opposta, si provi ad introdurre la bacchetta nell'anello tenendo chiuso un occhio. In questa prova s'incontra una certa difficoltà, portandosi la bacchetta ora troppo avanti ora troppo indietro. L'introduzione diviene facile tosto che si apre anche l'altro occhio, presentandosi allora l'anello nel suo vero posto ed alla sua vera distanza. D'Alembert negava che gli oggetti si vedessero nell'intersezione degli assi ottici; giacchè in tal caso non comparirebbero a certe distanze. L'equivoco è stato spiegato da Araldi colla distinzione che, quando giudichiamo il corpo in un dato punto a distanza diversa di quella, cui realmente esiste, non lo vediamo già in quel punto, ma per illusione ottica crediamo che vi sia. Noi lo vediamo sempre nell'intersezione degli assi ottici, giudicando questa intersezione che segua a diversa distanza (1).

907. D'ordinario ci serviamo dell'angolo ottico $ChD$, che fanno nell'occhio gli assi $Ch$, $Dh$ dei coni luminosi dei punti estremi C, D dell'oggetto (fig. 138), per estimare la *grandezza*, in quanto da esso dipende quella dell'imagine *cd* dipinta sulla retina. Se quindi gli assi $Ch$, $Dh$, prima di giungere all'occhio, hanno subìto qualche deviamento, la grandezza apparente può essere molto differente dalla reale e nascere un'illusione ottica. Ad occhio quindi si giudica un oggetto più grande o più piccolo del vero, quando con qualche mezzo s'ingrandisce o s'impicciolisce l'angolo ottico, ed è con ciò che cogli specchi e le lenti curve si varia la grandezza apparente degli oggetti, come mostreremo parlando della visione con questi mezzi ottici. È per tal ragione che due alberi AB, *ab*, quantunque d'egual altezza (fig. 144), guardati da O comparisce più piccolo quello a maggior distanza dell'altro; e due uccelli AB, *ab* (fig. 145), sebbene di diversa grandezza, possono essere situati in modo da fare l'egual angolo ottico e quindi di sembrare all'occhio in O della medesima grandezza. Parimenti due linee parallele, come due filari d'alberi (fig. 146), la soffitta d'un lungo corridoio e simili, appariranno convergenti all'oc-

(1) Vedi *Memorie dell'Istituto nazionale italiano*, t. I, parte 3ª, pag. 151.

chio situato ad un'estremità, risultandone angoli ottici sempre più piccoli coll'aumentare la distanza dall'occhio. Nello stesso modo il sole, quantunque abbia un diametro di circa 411 volte più grande della luna, comparisce quasi eguale a questo pianeta, perchè l'angolo ottico del primo è presso che eguale a quello fatto dal secondo corpo, atteso la maggiore distanza cui si trova dalla terra.

La linea verticale AB, inclinata nella posizione A'B (fig. 147), fa nell'occhio in O un angolo minore, e quindi, quando non si abbiano dati per correggere lo stato apparente, sembra avere minore lunghezza. Che se essa, ruotando intorno al punto B, prendesse la posizione sul prolungamento della visuale O'B, apparirebbe un punto. Per questo motivo le persone vedute dall'alto d'una torre sulla piazza sottoposta ci appariscono più piccole di quando si vedono orizzontalmente all'eguale distanza. Gli oggetti che sono collocati in quelle situazioni in cui siamo abituati a vederli ed hanno delle dimensioni a noi ben conosciute, sono valutati della loro vera grandezza quantunque varii l'angolo ottico per la distanza: in difetto però d'uso e di pratica per somiglianti valutazioni a quelle distanze e posizioni in cui non siamo avvezzi a vedere gli oggetti medesimi, allora fondiamo i nostri giudizi sull'angolo ottico. Uno spettatore posto in S ad una certa distanza (fig. 148), giudicherebbe dall'angolo ottico gl'intervalli, che separano gli oggetti A, B, C; e quantunque quello fra A, B sia minore dell'altro fra A, C, pure farebbe un giudizio contrario per essere l'angolo ACB maggiore di ASC.

Alcuni corpi sono posti a grandissime distanze nello spazio e si vedono quindi sotto piccolissimi angoli ottici. Essi pei loro moti prendono posizioni differenti e si trovano così in circostanze per essere posti a confronto con diverse grandezze di oggetti terrestri. La luna, il sole ed altri astri compariscono più grandi veduti all'orizzonte nel loro nascere e tramonto, di quando sono allo zenito. Per comprendere come avviene quest'illusione ottica, importa di previamente far osservare che, quando gli astri sono elevati sull'orizzonte, l'osservatore ne riferisce la loro grandezza a quella della sommità dei tetti ed altri consimili oggetti terrestri, non avendone intorno a sè altri per farne il confronto. In tale posizione per conseguenza la luna, il sole ecc. appariscono occupare una porzione del tetto o della sommità della casa e simili; il quale spazio sembrando molto piccolo dalla posizione in cui si osserva, si giudica altresì molto piccola la luna ecc. che ad esso viene paragonata. Ma allorchè la osserviamo vicino all'orizzonte, la mettiamo a confronto colle estese pia-

nure e colle vaste campagne che ci stanno davanti, e la giudichiamo di maggior grandezza di prima. Tale è la spiegazione che è stata data da uno dei più distinti scolari di Galilei, Benedetto Castelli: egli avendone misurato l'angolo ottico, lo trovò eguale nelle due posizioni; e d'altronde, intromettendo qualche oggetto per togliere la vista della grande estensione che sta davanti, la luna comparisce nel suo nascere e nel suo tramonto di grandezza eguale a quella che ha allo zenito. Eguale spiegazione fu data poscia da qualche altro fisico. Osserviamo altresì che, guardando la luna a traverso un vetro affumicato a facce piane e parallele, per togliere la vista degli oggetti circostanti, essa comparisce all' orizzonte di grandezza apparente come allo zenito.

Quei fisici, che ricorrono alla rifrazione per ispiegare il fenomeno descritto, sembra che non abbiano fatto riflessione agli effetti della rifrazione medesima prodotta dall'atmosfera (1). Imperocchè, aumentando essa colla densità dell'aria, i raggi luminosi dell'estremità inferiore del diametro verticale dell'astro subiscono una rifrazione maggiore di quelli dell'estremità superiore; per cui il diametro stesso apparisce più piccolo mentre quello orizzontale rimane invariabile. Anzi è questa la ragione per cui il sole, la luna e le stelle vicino all'orizzonte compariscono di figura elittica in vece della circolare, che hanno allo zenito e nelle posizioni molto elevate. La rifrazione dell'atmosfera a 5° di distanza dallo zenito è soltanto di 5'',04, a 30 gradi di 33'',26, a 60 gradi di 1'. 39'',41, a 80 gradi di 5'. 15'',10, a 85 gradi di 9'. 44'',57 ed a 89 gradi di 24'. 38'',16.

Avanti di dar fine a questo paragrafo, aggiungeremo che Lehot, in seguito alla sua teoria sulla visione dove ammette la percezione delle imagini a tre dimensioni formate nell'umore vitreo (§. 890), ha cercato di dimostrare una nuova *legge matematica per la valutazione delle distanze e delle grandezze apparenti dei corpi, veduti con un sol occhio.* Questa legge dell'autore è annunziata nei seguenti termini: *Le grandezze apparenti sono in ragion composta diretta delle grandezze reali e dei logaritmi delle distanze reali, ed inversa di queste distanze* (2). Per la giustezza di questa legge ci

(1) Uno di quelli, che hanno cercato di sostenere quest'opinione, è il prof. Mile nella sua dissertazione: *Sur la grandeur apparente des objets causée par la réfraction de la lumière dans l'atmosfère (Bulletin des sciences mathématiques* ecc. di Ferussac, t. I, pag. 299).

(2) Si vegga il *Bulletin* ecc. di Ferussac, t. III, pag. 104; come pure t. V, p. 17 e t. VII, pag 245 e 247.

sembra essere prima necessario di stabilire come noi giudichiamo ad occhio le grandezze apparenti degli oggetti, il quale giudizio non può essere fatto che in una maniera semplice secondo le aprenze che ci mostrano gli oggetti medesimi, secondo cioè l'angolo ottico. Ora se le grandezze apparenti sono da noi valutate dall'angolo ottico, si trova facilmente, come mostreremo nel seguente paragrafo, ch'*esse sono in ragione diretta delle grandezze reali ed inversa delle distanze.*

908. Allorquando l'anima non può o per una lunga sperienza o altrimenti correggere le percezioni che le procura la vista, giudica anche la *distanza* degli oggetti dall'angolo ottico e dall'illuminamento; giacchè, a misura che un oggetto si allontana dall'occhio, diminuisce quell'angolo in un rapporto che quanto prima impareremo a conoscere. Dall'esperienza poi si apprende che un *oggetto in distanza si vede meglio quando è solitario che circondato da altri corpi*. Si apprende altresì che un oggetto solitario ed illuminato dal pieno meriggio, incomincia a scomparire e non si può più discernere quando si pone alla distanza di 5156 de'suoi diametri. I due raggi quindi dei punti estremi dell'oggetto col diametro stesso formano un triangolo isoscele la cui base è 1 e l'altezza 5156; e l'angolo ottico si trova colla trigonometria di circa $\frac{1}{3}$ di minuto, il quale è di $\frac{1}{2}$ minuto per gl'intervalli che separano gli astri nel cielo (§. 893). Il limite della visione confusa è più ristretto, e quando l'oggetto sia luminoso per se stesso, non si conosce sin dove giunga quell'angolo; giacchè le stelle fisse sono visibili sotto un angolo ottico impercettibile. La visione distinta degli oggetti non solitari ha un limite assai più ristretto, diventando essi indistinguibili alla chiarezza del giorno sotto l'angolo di 1'. 15''. Diminuendo l'intensità della luce, cresce l'angolo che limita la visione e che varia eziandio secondo il colore dell'oggetto. Gli angoli ottici, sotto cui i principali colori cessano di essere visibili ad un occhio sano e ben conformato, sono i seguenti:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| All'ombra. | - *Bianco* 18''. | - *Giallo* 19''. | - *Rosso* 31''. | - *Azzurro* 42''. |
| Al sole. | » 12. | » 13. | » 23. | » 26. |

In quanto alla distanza della visione distinta dei piccoli oggetti per un occhio sano senza prendere una posizione faticosa, si è fatta essa conoscere altrove (§. 894).

Variando dunque l'angolo ottico varia non solo la grandezza, ma

eziandio la distanza apparente, cui si giudica l'oggetto. Siano pertanto $mn$, $pq$ due oggetti (fig. 149) posti alle distanze $Or = d$, $Os = d'$ dall'occhio, e le cui grandezze reali, perpendicolari all'asse ottico $Os$, si esprimano con $g$, $g'$, e le apparenti con $a$, $a'$, che rappresentano gli angoli ottici $mOn$, $pOq$. Dai triangoli rettangoli $mrO$, $psO$ si ha rispettivamente $tang.\ \frac{a}{2} = \frac{g}{2d}$, $tang.\ a' = \frac{g'}{2d'}$, e per conseguenza la proporzione $tang.\ \frac{a}{2} : tang.\ \frac{a'}{2} :: \frac{g}{2d} : \frac{g'}{2d'}$. Per la distanza cui sono situati gli oggetti $mn$, $pq$, gli angoli ottici riescono molto piccoli e si possono sostituire alle tangenti gli archi corrispondenti che li misurano; in conseguenza di ciò la precedente proporzione diventa $\frac{a}{2} : \frac{a'}{2} :: \frac{g}{2d} : \frac{g'}{2d'}$, ossia $a : a' :: \frac{g}{d} : \frac{g'}{d'}$. Da questa proporzione s'impara, quanto si è annunziato nel precedente paragrafo, che *le grandezze apparenti sono in ragione composta diretta delle reali ed inversa delle distanze.*

Dalla stessa proporzione si ha $d : d' :: \frac{g}{a} : \frac{g'}{a'}$, cioè *le distanze stanno nella ragione composta diretta delle grandezze reali ed inversa delle grandezze apparenti.* Infine, avendosi eziandio $g : g' :: ad : ad'$, ne risulta che *le grandezze reali sono in ragione composta di quelle apparenti e delle distanze.*

909. All'appoggio della proporzione precedente riesce facile di dichiarare le illusioni ottiche di distanza. Da essa s'impara che la distanza dipende dalle grandezze, reale ed apparente, dell'oggetto; e quando non si conoscono le dimensioni del medesimo, giudichiamo della distanza dalla grandezza apparente. Se quindi vi ha un piccolo oggetto in lontananza, e non abbiamo altri corpi intermedii per appoggiare il nostro giudizio, crediamo che la sua piccolezza dipenda dalla grande distanza cui è posto, e quindi si fa un falso giudizio della distanza medesima, ritenendolo più lontano da noi d'un altro oggetto molto più grande, il quale, quantunque a maggior distanza, mostra una grandezza apparente superiore a quella dell'altro.

Parimenti, attribuendo ad effetti consimili la medesima causa, gli oggetti molto illuminati sono giudicati a distanza minore di quella cui realmente sono, perchè riescono più distinti in ogni loro parte, il che sappiamo dipendere d'ordinario dalla minore distanza cui si trovano. Il sole e la luna, riescendo più splendenti quando irra-

diano perpendicolarmente verso la terra la luce, sembrano più vicini a noi trovandosi essi allo zenito che all'orizzonte. Al contrario, essendo abituati a vedere confusi ed oscuri gli oggetti lontani, giudichiamo un oggetto poco illuminato ad una distanza maggiore di quella, cui realmente si trova. Da qui l'illusione ottica, che sovente accade di notte al debole chiarore di luna, di credere molto distanti certi corpi, i quali si vedono confusamente pei deboli raggi da cui sono illuminati, mentre tutto ad un tratto senza avvedercene essi si trovano alla nostra presenza e fannno sulla nostra imaginazione l'effetto di fantasmi, che siansi a noi avvicinati.

910. Il moto di corpi, situati ad una certa distanza intorno di noi, si giudica pure dall'angolo ottico fatto successivamente dai raggi lucidi inviati all'occhio. Le stelle fisse percorrono in 1″ di tempo l'arco di 15″ e si rivolgono intorno alla terra senza che ci accorgiamo del loro moto. Si è per ciò stabilito in generale che un moto qualunque diventa insensibile se lo spazio trascorso in 1″ di tempo faccia un angolo ottico di $\frac{1}{4}$ di minuto. Siccome il raggio o la distanza dell'oggetto, che si muove circolarmente intorno ad un punto, ha una lunghezza equivalente a poco più di quella dell' arco di 50 gradi: così la distanza stessa risulta 12000 volte l'arco descritto in un secondo di tempo. Per conseguenza diremo che *un oggetto sembra immobile quando descrive in* 1″ *di tempo uno spazio eguale ad* $\frac{1}{12000}$ *della distanza dall'occhio.* Il moto reale d'un oggetto può dunque essere diverso dal *moto apparente* e dar luogo ad *illusioni ottiche di moto.* Se l'oggetto ha il moto così lento da sembrare in quiete, gli angoli ottici descritti in un secondo di tempo riescono insensibili, ed è per questa ragione che la lancetta dei minuti e molto più quella delle ore d'un orologio da tasca comparisce immobile.

Per definire in generale la relazione che passa fra il moto apparente e la distanza dell'oggetto, sia in O l'occhio immobile e gli oggetti, nei punti $n$, $q$, descrivano nell'egual tempo e per lo stesso verso gli spazi paralleli $nm$, $qp$ (fig. 149). Questi rappresentano le velocità reali (§. 182) che diremo $v$, $v'$; mentre gli angoli ottici $mOn$, $pOq$ sono le apparenti che chiameremo $a$, $a'$, notando con $d$, $d'$ le rispettive distanze $Or$, $Os$ dall'occhio. Dai triangoli isosceli, che fanno gli spazi descritti coi raggi luminosi diretti all'occhio, avremo, come precedentemente (§. 908), la proporzione $a : a' :: \frac{v}{d} : \frac{v'}{d'}$, vale a dire

che *le velocità apparenti sono in ragione composta diretta delle velocità reali ed inversa delle distanze*. Se $d = d'$, cioè le distanze eguali, allora *le velocità apparenti sono in ragione delle reali*. Che se è $v = v'$, ossia le velocità reali eguali, in tal caso *le velocità apparenti sono in ragione inversa delle distanze*; il corpo riuscirà cioè meno veloce quanto più è grande la sua distanza dallo spettatore. Siano inoltre le velocità reali in ragione delle distanze dall'occhio, cioè $v : v' :: d : d'$ e per conseguenza $\frac{v}{d} = \frac{v'}{d'}$, in questo caso risulta $a = a'$, vale a dire che *nella supposizione delle velocità reali nella ragione delle distanze, le velocità apparenti riescono eguali.*

911. Le illusioni ottiche di moto si spiegano facilmente all'appoggio dei principii esposti. Primieramente diremo che, quando due oggetti appariscono intorno a noi egualmente celeri, trovandosi essi sempre sulla medesima retta condotta dall'occhio, vuol dire che le loro velocità reali sono in ragione inversa delle distanze dall'occhio. Che se i due oggetti si presentano con velocità apparenti diverse, vuol dire che il più veloce è più vicino dell'altro, che si mostra meno celere. Un oggetto può passare avanti all'occhio con un moto così veloce da non fare in un secondo di tempo un angolo ottico sensibile, e quindi di non accorgersi del suo passaggio. È per ciò che non si vede la palla lanciata dall' archibugio quando passa avanti di noi parallelamente alla linea congiungente i due occhi.

Succede un'illusione ottica allorquando due oggetti *a*, *b*, egualmente distanti dall'occhio O (fig. 150), si muovono con eguale velocità verso *d* e conservano perciò fra loro sempre l'egual intervallo, che cangiano però relativamente al corpo fisso *c*. Passando poscia dai luoghi *a*, *b* agli altri *a'*, *b'*, formeranno essi, col punto fisso *c*, gli angoli ottici *cOa'*, *cOb'* maggiori dei precedenti *cOa*, *cOb*. L'occhio quindi, che trova sempre eguali gli angoli ottici *aOb*, *a'Ob'* e sempre crescenti *cOa*, *cOb*, *cOa'*, *cOb'*, qualora gli manchi ogni altra norma per giudicare della realtà, stima immobili i due oggetti *a*, *b*; mentre gli sembra che in direzione contraria si muova il corpo fisso *c*. Quest'illusione ottica si osserva talvolta nella luna, che sembra correre velocemente verso settentrione, quando una massa di vapori, le cui parti rimangono invariabili rispetto l'una all'altra, è trasportata celeremente dal vento verso mezzodì.

Ora supponiamo l'occhio in movimento senza accorgersi, il che succede quando viaggiamo in barca o in carrozza. Allora, trovandosi le parti del veicolo e degli oggetti che si muovono con

noi sempre alla stessa distanza dall'occhio e cogli intervalli eguali, tutto il moto è attribuito agli oggetti fissi, che si presentano all'occhio. Perciò le case, gli alberi ecc., che fiancheggiano la strada o la ripa, sembra che si muovano in verso contrario al nostro. È per la medesima illusione che attribuiamo alle stelle fisse ed agli altri astri nel firmamento il moto di rotazione della terra intorno al proprio asse.

Avviene talvolta un'illusione ottica quando un oggetto si muove con maggiore o minor velocità lungo la medesima retta dell'osservatore: se il moto è nello stesso verso, l'oggetto medesimo sembra nel primo caso dirigersi in verso contrario dell'osservatore colla differenza delle velocita, e nel secondo accostarsi al medesimo pure colla differenza delle velocità. L'oggetto sembrerà in quiete quando le due velocità siano eguali. Se il moto dell'oggetto è in verso contrario, sembra che si discosti dall' osservatore con una velocità eguale alla somma d'ambedue. Quest'ultima illusione si prova viaggiando in carrozza ed incontrandone un' altra diretta in opposta direzione: al momento che questa passa vicino, sembra avere una grande velocità, la quale eguaglia la propria, di cui è realmente dotata, più quella, che le viene attribuita, dovuta all'osservatore.

Sia l'occhio ancora in moto ed un oggetto, molto distante posto lateralmente, in quiete o come tale possa essere considerato: in questo caso, restando sensibilmente paralleli i raggi visuali condotti dall'occhio all'oggetto, riescono insensibili le variazioni dell'angolo ottico, onde l'oggetto non cambia sensibilmente di posizione rispetto all'occhio. Perlocchè, essendo avvertito l'occhio del proprio moto, giudica che seco lui si muova con eguale velocità anche l'oggetto. Quest'illusione si prova quando si corre guardando la luna, la quale sembra che si muova con noi per lo stesso verso.

912. La *prospettiva* è fondata sullo stato apparente degli oggetti tali e quali si rappresentano allo sguardo dell'osservatore. I quadri in prospettiva non si disegnano secondo lo stato reale di figura, di posizione, di grandezza ecc. degli oggetti, ma secondo quello apparente, e ciò a differenza dell'icnografia, nella quale gli oggetti sono disegnati nel loro stato reale. Collocatevi sopra un'altura e rivolgete all'intorno l'occhio sulla pianura, sui colli e sugli oggetti circostanti, questi dipingeranno nell'occhio diverse imagini apparenti; formeranno differenti angoli ottici secondo la loro grandezza, la loro lontananza, la loro posizione; si presenteranno più o meno confusi, più o meno distinti, più o meno lucidi, più o meno colorati, e quelli in moto sa-

ranno pure dotati d'uno stato apparente di movimento secondo la loro posizione. Osservando fedelmente tutte queste apparenze, disegnandole tali e quali si presentano, e distribuendole secondo l'ordine con cui compariscono, si potrà comporre un quadro da illudere e da far credere che quegli oggetti realmente esistono avanti di noi. Si vedrà un lungo viale d'alberi con filari convergenti, oggetti piccoli e disegnati confusamente che sembreranno molto distanti, altri somiglianti rappresentati più in grande e più illuminati che compariranno più vicini: si vedrà insomma un ricco e vario paesaggio e non una semplice tela, sopra cui il pittore ha disegnato quei diversi oggetti nel loro stato apparente. *La prospettiva dunque è l'arte di rappresentare sopra superficie piane gli oggetti tali e quali si scorgono alla vista.* Essa è sottoposta a leggi ed a regole desunte dai principii spiegati sulle illusioni ottiche.

Il quadro è tanto più perfetto quanto più l'imitazione dello stato apparente è esatta, sia nella grandezza, nella distanza, nella posizione, sia nel grado di chiarezza, di nettezza e di colorito sotto cui naturalmente compariscono gli oggetti. Nulla è più mirabile, in questo genere di dipinture, del *panorama*, che presenta tutti gli oggetti posti all'intorno d'un tratto di paese scelto per quest'effetto. L'illusione talvolta è sì viva, che l'occhio non la riconosce e si crede trasportato sul luogo reale.

Nei gabinetti di alcuni dilettanti di cose pittoriche si riscontrano certi quadri, in cui tutte le leggi della prospettiva sembrano violate a bella posta: guardáti di fronte questi quadri non presentano nè proporzioni, nè misura: l'occhio non vi scorge neppure l'oggetto che si è voluto rappresentare. Ogni irregolarità però sparisce quando l'osservatore si collochi nel dovuto punto, che ebbe di mira il pittore ed al quale si riferisce la prospettiva di tutti gli oggetti rappresentati sul quadro. In quella situazione tutto si ordina e tutto prende le convenienti proporzioni, e desta meraviglia di vedere tutte le parti giustamente dipinte, bene distribuite e proporzionate all'oggetto, che in ogni altra posizione compariva deforme. I quadri di questa specie si chiamano *anamorfosi*, e l'effetto nella scuola si mostra con certe tavolette lunghe circa 5 decimetri, sulle quali è disegnato l'oggetto nello stato descritto, che veduto di fronte comparisce deforme e non si riconosce. Ma applicando l'occhio ad un foro fatto in una piccola assicella unita a squadra all'estremità della tavoletta, il disegno comparisce ordinato e si presenta l'oggetto in giusta prospettiva.

913. Abbiamo sinora veduto come alla semplice vista giudichiamo

dello stato apparente degli oggetti, verremo quindi a mostrare come compariscono gli oggetti veduti per mezzo degli specchi e delle lenti.

I raggi lucidi degli oggetti, nel giungere all'occhio per riflessione degli specchi, cambiano direzione; per cui, riferendo l'imagine sul prolungamento dell'asse di ciascun cono luminoso, vediamo gli oggetti medesimi in sito differente da quello dove realmente esistono. Sia AB uno specchio piano ed O la pupilla (fig. 151): di tutti i raggi lucidi del punto M dell'oggetto MN, i soli M*e*, M*f* e quelli in essi compresi entrano nell'occhio per la pupilla O. Prolungati i raggi riflessi *e*O, *f*O sino al loro incontro in *m*, ivi l'occhio vede l'imagine del punto M per mezzo del cono lucido O*m*, di cui la porzione O*fe* è reale e la *emf* apparente. Istessamente l'altro punto estremo N dell'oggetto si vede in *n* pel cono lucido O*n*, di cui la porzione O*pq* è reale e la *pnq* apparente. Per l'eguaglianza dei triangoli M*ef*, *mef*, risulta M*e*=*me*, e congiunta M*m*, il triangolo MA*e* eguale ad *m*A*e*. Ne conseguita quindi che M*m* è perpendicolare allo specchio AB e la retta AM=A*m*, cioè l'imagine del punto M dell'oggetto, si vede di dietro allo specchio ad una distanza dal medesimo eguale a quella dell'oggetto. Lo stesso si dica dell'imagine *n* dell'altro estremo N dell'oggetto, e così di qualunque altro punto. L'imagine adunque dell'intiero oggetto è posta alla medesima distanza di dietro allo specchio ed ha l'eguale figura e grandezza.

Si deduce quindi una regola facile per determinare il luogo dell'imagine degli oggetti veduti cogli specchi piani, conducendo cioè da ogni punto una perpendicolare allo specchio, la quale si prolunga al di là del medesimo, e sul prolungamento se ne prende una porzione eguale alla distanza del punto stesso dello specchio. Tutti i punti così determinati formano l'imagine dell'oggetto, la quale non ha un'esistenza reale, ma è virtuale. In questa determinazione, come abbiamo detto (§. 885), si suole prendere invece dai coni lucidi i rispettivi assi, considerando la pupilla come un punto. *L'imagine dunque d'un oggetto, veduto per mezzo d'uno specchio piano, è situata di dietro al medesimo alla distanza eguale a quella dell'oggetto, ha la stessa figura e grandezza ed è virtuale.* Il fanciullo, che per la prima volta mira in uno specchio la sua imagine e quella degli oggetti circostanti, crede avere avanti di sè un ente reale, e si accorge dell'illusione dopo averla indarno ricercata di dietro allo specchio medesimo.

Da quanto si è esposto intorno alla visione cogli specchi, si apprende in qual modo quelli ordinarii di vetro amalgamato debbono dare due imagini, come si è altrove avvertito (§. 756). La prima, più

vicina e languida, è prodotta dalla superficie anteriore del vetro; l'altra, più distante e molto viva, succede per la riflessione della rilucente superficie metallica. Le due imagini riescono tanto più vicine, quanto più è piccolo l'intervallo fra le due superficie, ossia quanto più è sottile la lastra di vetro.

914. L'imagine d'un oggetto, veduto con uno specchio piano, è dunque la copia fedele del medesimo. Ma riferita alla superficie riflettente si riscontra in essa una specie di rovesciamento: infatti una persona, che osserva la sua imagine nello specchio piano, trova che la parte destra di questa è alla sinistra quando essa si mettesse in quella posizione, e la sinistra tiene il luogo della destra. Per la medesima ragione vi ha una contrarietà di moti, vale a dire che se la persona s'incammina alla sinistra, l'imagine si muove per lo stesso verso riguardo alla persona medesima, ma che sarebbe la parte destra se essa si rivolgesse come l'imagine. In generale però l'imagine è disposta, relativamente allo specchio, euritmeticamente come l'oggetto: talchè se questo ha il piede rivolto verso lo specchio e il vertice nella parte opposta, l'imagine ha pure il piede ed il vertice egualmente disposti.

Nei movimenti dell'oggetto, l'imagine si muove egualmente: se il primo si allontana, la seconda prende pure una posizione ad eguale distanza dallo specchio; e se il moto di quello si fa parallelamente allo specchio, anche questa concepisce un moto parallelo; e così si dica se il moto è perpendicolare od obbliquo allo specchio. In tutti questi movimenti la velocità dell'imagine è eguale a quella dell'oggetto. Tutte le dette apparenze sono una conseguenza immediata del modo con cui si è spiegata la formazione dell'imagine, il quale è fondato sulla nota legge dell'eguaglianza dei due angoli d'incidenza e di riflessione (§. 754).

Poniamo ora in movimento lo specchio, lasciando l'oggetto in quiete. Tanto che il moto sia di translazione quanto di rotazione, l'imagine si muove con una velocità doppia di quella dello specchio. Infatti l'imagine deve sempre formarsi di dietro allo specchio a distanza eguale a quella, cui si trova l'oggetto davanti al medesimo. Se dunque lo specchio si allontana dall'oggetto per un dato intervallo, per es. di 3 metri, l'imagine deve primieramente allontanarsi d'altrettanto per compensare lo spazio percorso dallo specchio verso di essa, e poscia allontanarsi ancora del medesimo intervallo di 3 metri per mettersi alla distanza eguale a quella cui si trova l'oggetto: per conseguenza l'imagine deve descrivere uno spazio doppio di quello

percorso dallo specchio, cioè di 6 metri. Lo stesso si dica se lo specchio nel suo moto si avvicina all'oggetto. Egual ragionamento vale nel caso che lo specchio ruoti intorno a se stesso: l'imagine, ad ogni arco descritto dallo specchio, percorre un arco di doppio numero di gradi. L'imagine quindi che era parallela allo specchio, gli sarà perpendicolare quando questo avrà percorso 45°. Parimenti, se lo specchio passa da verticale ad essere orizzontale descrivendo così un arco di 90°, l'imagine percorre un arco doppio di 180°, e per conseguenza si capovolge.

È per questa ragione che in uno specchio verticale, essendo le imagini degli alberi e degli uomini ecc. pure verticali; quando prende la posizione orizzontale le imagini stesse si vedono capovolte, come succede per riflessione sulla superficie dei liquidi stagnanti (fig. 152). Il doppio moto dell'imagine al moversi dello specchio si osserva negli strumenti catottrici, come i telescopii a riflessione, nei quali al più piccolo urto che ricevono dal pavimento o per altra cagione, basta per agitare sensibilmente le imagini degli astri ed a farli perdere di vista. Si comprende altresì come lo spettro, prodotto per riflessione da raggi luminosi sopra la superficie dei liquidi, concepisce un movimento molto più grande, anzi doppio, di quello che ha il liquido medesimo in agitazione.

915. Da quanto si è esposto è facile di determinare le dimensioni d'uno specchio piano, col quale una persona possa vedere per intero la sua imagine. Sia AB lo specchio (fig. 153) posto verticalmente e CD la persona al medesimo parallela. Le imagini delle estremità C, D si vedono di dietro allo specchio nei punti *c*, *d* alle distanze A*c*, B*d* dallo specchio eguali rispettivamente ad AC, BD (§. 913), e l'intera imagine riesce pure parallela allo specchio trovandosi questo nel giusto mezzo tra l'oggetto e l'imagine. Ora il triangolo O*cd*, formato dai raggi riflessi prolungati e dall'altezza dell'imagine eguale a quella dell'oggetto, ha i due lati O*c*, O*d* divisi per mezzo in *e*, *f* dallo specchio AB. Siccome poi riescono simili i due triangoli O*ef*, O*cd*; così ne risulta che la porzione *ef* di specchio eguaglia la metà dell'altezza dell'imagine *cd* o della persona CD, per essere queste lunghezze rispettivamente proporzionali ai lati O*f*, O*d* metà l'uno dell'altro. Si ripeta lo stesso ragionamento in riguardo alla grossezza della persona ed alla larghezza dello specchio. Ne conseguita dunque che *uno specchio piano, col quale si possa vedere per intiero la propria imagine, deve avere un'altezza almeno eguale alla metà di quella della persona ed una larghezza equivalente alla metà della grossezza della medesima.*

916. Un oggetto, fra due specchi piani disposti sotto un qualunque angolo, presenta all'occhio parecchie imagini, il cui numero dipende in generale dall'angolo, che fanno i due specchi. Sia $p$ un punto lucido situato fra i due specchi AC, BC (fig. 154): la posizione della prima imagine, prodotta dallo specchio AC, si determina prendendo sulla circonferenza, descritta col raggio $Cp$, l'arco $ma'=mp$; giacchè, conducendo la corda $pa'$, questa riuscirebbe perpendicolare allo specchio AC e divisa dal medesimo in due parti eguali, per cui $a'$ sarà il luogo della prima imagine (§. 913). Quest'imagine diventa oggetto per l'altro specchio BC e dà nascimento all'imagine $b''$, che si ottiene nello stesso modo prendendo l'arco $nb''=na'$, ed è la seconda di quelle presentate dallo specchio BC, trovandosi la prima in $b'$ prodotta direttamente dal punto $p$ e determinata come si è fatto di $a'$. L'imagine $b'$ serve d'oggetto allo specchio AC e genera la seconda imagine $a''$, la cui posizione è data dall'arco $ma''=mb'$. Di dietro ad ambidue gli specchi si vanno così moltiplicando le imagini, le quali sono in numero limitato, perchè si allontanano sempre più dall'oggetto e giungono al punto che le normali, condotte da esse, non incontrano più gli specchi e cadono al di là dell'angolo dei medesimi, divenendo in tal modo non più atte a produrne delle nuove.

Determiniamo ora il cammino dei raggi lucidi, che partono dal punto $p$ e giungono al occhio situato in O dopo una, due o più riflessioni successive, producendo in esso l'impressione, che risveglia l'idea d'ogni imagine corrispondente. A tal fine si conduca dalla prima imagine $a'$ all'occhio O la retta $a'O$, la quale è intersecata dallo specchio AC in $r$: congiunta $pr$, è chiaro che la prima imagine $a'$ nasce dal raggio lucido $pr$ riflesso nella direzione $rO$. In questa prima imagine $a'$ ha luogo una sola riflessione, ed essa è distante dall'occhio dell'intervallo $Oa'$ eguale alla lunghezza del cammino $pr+rO$ percorso dal raggio lucido da cui è prodotta. Si conduca egualmente dalla seconda imagine $a''$ all'occhio la retta $a''O$, la quale incontra lo specchio AC in $s$. Dal punto $s$ si guidi la retta $sb'$, che taglia l'altro specchio BC in $t$, dopo di che si unisca questo punto coll'oggetto tirando la $pt$. Il raggio luminoso $pt$, giunto sullo specchio BC, è riflesso per $ts$, dove subisce una seconda riflessione sullo specchio AC prendendo la direzione $sO$ per giungere all'occhio. Quest'andamento è dimostrato dall'eguaglianza di due ordini di triangoli, che hanno i rispettivi vertici comuni in $t$ ed in $s$ ed una porzione di ciascuno specchio per lato pure comune. La seconda imagine $a''$, mentre succede con due riflessioni in $t$ ed in $s$, è distante dall'occhio dell'intervallo $Oa''=Os+sb'=Os+st+tp$,

eguale cioè al cammino percorso dal raggio lucido, da cui nasce. Con un processo somigliante si proverebbe che la terza imagine, situata di dietro allo specchio AC, è prodotta da tre riflessioni ed è distante dall'occhio d'un intervallo eguale al cammino percorso dal raggio lucido. Lo stesso si dica delle successive che potrebbero nascere, e di quelle che si formano in virtù dell'altro specchio BC.

Da quanto si è esposto si ricava: 1° Sopra ognuno degli specchi la prima imagine si vede per una sola riflessione, la seconda per due, la terza per tre ecc., ed esse sono poste sulla circonferenza, che ha per raggio la distanza dell'oggetto dal vertice dell'angolo degli specchi; 2° la distanza di ciascuna di esse dall'occhio eguaglia il raggio incidente più tutti i raggi riflessi, ossia la somma dei diversi cammini che il raggio lucido percorre nel giungere all'occhio; 3° la prima imagine per conseguenza è più viva della seconda, questa della terza ecc., diventando esse più languide, a misura che si discostano dall'occhio, in causa della maggiore distanza e della perdita che succede nelle successive riflessioni; 4° più grande è l'angolo sotto cui sono inclinati i due specchi, si ha minor numero d'imagini; anzi con considerazioni geometriche si trova che, quando l'angolo dei due specchi è una parte aliquota $n$ dell'intera periferia o di 360 gradi, il numero delle imagini, compresa quella prodotta direttamente dall'oggetto, è in generale espresso da $n+1$, il qual numero si riduce ad $n$ in due casi: 1° quando $n$ è pari; 2° quando l'oggetto è posto sulla retta che divide per metà l'angolo degli specchi. Che se il numero dei gradi dell'arco d'inclinazione dei due specchi sta in 360 lasciando un residuo, ossia ch'esso è compreso tra l' $n^{ma}$ e la $(n+1)^{ma}$ parte di 360°, il numero delle imagini è almeno di $n+1$ e può essere eziandio, in una posizione conveniente del punto luminoso, di $n+2$; 5° se i due specchi sono paralleli, vale a dire fanno fra loro un angolo zero, il numero delle imagini, che ne risultano, è infinito. Esse sono disposte sulla medesima retta e formano una lunga fila, che si estende indefinitamente sino a che le imagini diventano così languide che sono insensibili.

Due specchi inclinati ad angolo retto od ottuso daranno dunque più d'un imagine, oltre quella diretta, dell'oggetto disposto di contro ad essi. Su questo principio sono costrutti lo *specchio duplicatore* e lo *specchio moltiplicatore*, che si riscontrano presso i dilettanti di cose ottiche. Il primo consiste in due specchi disposti sotto un angolo molto ottuso e ricongiunti in modo, che sembrano formare un solo specchio piano. Colui che guarda in questo specchio resta sorpreso di vedere

a comparire due imagini. Lo specchio moltiplicatore è costituito da parecchi piccoli specchi piani o convessi, le cui superficie sono inclinate sotto un angolo molto ottuso e danno un numero d'imagini eguale al doppio degli specchietti, di cui si compongono. Ponendo fra due specchi paralleli un oggetto tinto di due o più colori, le imagini che si vedono lungo la medesima linea si succedono collo stesso ordine di colori, e formano una fila variopinta, che in parecchi casi produce un'illusione gradevole all'occhio. In generale diremo che cogli specchi, combinati sotto differenti angoli, si formano molte illusioni ottiche, fra le quali sono quelle presentate dal caleidoscopio, di cui parliamo più avanti.

917. L'imagine degli oggetti, veduti con gli specchi concavi, può essere reale o virtuale nella stessa maniera che il loro fuoco appartiene all'uno o all'altro stato secondo la direzione rispettiva dei raggi luminosi (§. 763). Ciascun punto dell'oggetto forma la sua imagine sull'asse nel sito, dove si riuniscono i raggi dello stesso cono luminoso, di cui il punto medesimo è il vertice: per cui basterà condurre almeno due di questi raggi per determinare il punto della loro riunione dopo essere stati riflessi dallo specchio.

Sia a tal fine AB lo specchio concavo (fig. 155), di cui F è il fuoco e C il centro di curvatura: se l'oggetto *mn* è collocato fra il fuoco F e il centro ottico D, sappiamo, dall'equazione $f=\frac{dr}{2d-r}$, che i raggi appartenenti al medesimo punto sono riflessi divergenti (§. 763), per cui prolungati al di dietro dello specchio s'intersecheranno in un punto virtuale, e il loro complesso darà luogo all'imagine del pari virtuale MN, la quale è simile e similmente posta come l'oggetto. Si conduca dunque da *m* la retta *mp*, parallela all'asse e rappresentante un raggio lucido, questo è riflesso e passa pel fuoco F dello specchio (§. 762); si conduca altresì da *m* il raggio *m*D al centro ottico D, che viene riflesso secondo D*q* facendo l'angolo di riflessione *q*DF eguale a quello d'incidenza *m*DF (§. 754): si prolunghino i due raggi così condotti al di là dello specchio, che si riuniranno nel punto M, che sarà l'imagine virtuale del punto *m* dell'oggetto. Si operi egualmente per l'altro punto estremo *n* per determinare la corrispondente imagine virtuale N, e così degli altri punti intermedii. L'occhio quindi posto avanti allo specchio raccoglierà i coni luminosi appartenenti a ciascun punto e gli apparirà l'imagine virtuale MN dell'oggetto. All'appoggio della dottrina degli specchi (§. 765) si possono condurre gli assi secondari relativi ad ogni punto dell'oggetto, onde avere le ima-

gini dei punti situati fuori dell'asse principale, pei quali la distanza si determina colla medesima equazione. In tal maniera i punti dell'imagine MN saranno similmente disposti per rapporto a quelli omologhi dell'oggetto *mn* e l'imagine riuscirà simile all'oggetto stesso.

Se l'oggetto *mn* è posto al di qua del fuoco F, allora i raggi lucidi di ciascun punto del medesimo sono riflessi convergenti (fig. 156), come si apprende dalla stessa equazione $f=\frac{dr}{2d-r}$, e per conseguenza l'imagine è reale, cadendo essa sul davanti dello specchio ed essendo capovolta relativamente all'oggetto. Dall'estremo *m* si conducono, come precedentemente, i due raggi *mp* parallelo all'asse ed *m*D diretto al centro ottico, i quali riflessi convergenti si riuniscono nel punto M e vi producono l'imagine reale dell'estremo *m*. Nello stesso modo si determina l'imagine N dell'altro estremo *n* dell'oggetto, come pure di tutti i punti intermedii. Ne risulta così l'imagine reale MN dell'oggetto *mn*, la quale nell'oscurità, per un corpo luminoso, si può vedere galleggiante nell'aria, ponendosi alla giusta distanza per la visione distinta (§. 894), oppure proiettata sopra un piano bianco posto pure a conveniente distanza dallo specchio. Per vedere in tal caso l'imagine, bisogna collocare l'oggetto non nel centro geometrico C dello specchio, perchè allora i raggi si riunirebbero nello stesso sito (§. 763) e l'imagine si confonderebbe coll'oggetto.

Per determinare in ogni caso la grandezza dell'imagine relativamente all'oggetto, consideriamo i triangoli rettangoli, *m*D*e*, MDE (fig. 155 e 156), i quali, essendo simili, danno la proporzione *e*D : ED : : *me* : ME, dove *e*D è la distanza $d$ dell'oggetto dallo specchio, ED quella $f$ dell'imagine ed *me* la grandezza $g$ della metà dell'oggetto, mentre ME è quella della parte corrispondente dell'imagine che diremo $x$. Sostituendo si ha $d : f : : g : x$, da cui $x=\frac{f}{d}\,.\,g$. Dall'equazione $f=\frac{dr}{2d-r}$ o dall'altra equivalente $f=\frac{dp}{d-p}$, dove $p$ è la distanza focale principale (§. 764), si ricavi il valore $d=\frac{fp}{f-p}$ e si sostituisca in quello $x=\frac{f}{g}\,g$ della grandezza dell'imagine: con ciò si ha $x=\left(\frac{f}{p}-1\right)g$. Da cui si apprende che *l'imagine risulta tanto più grande quanto più è piccolo* p, *cioè quanto più lo specchio è di corta distanza focale*. Sostituendo invece il valore di $f$ in quello della gran-

dezza dell' imagine si ha $x = \frac{d}{d-p} . g$; la quale espressione è tanto più grande quanto più $d$ si accosta ad eguagliare $p$: per cui *la maggiore grandezza dell'imagine, tanto virtuale che reale, si ha collocando l'oggetto alla minore distanza possibile dal fuoco principale dello specchio*; senza però collocarlo nel fuoco medesimo, perchè allora i raggi lucidi verrebbero riflessi parallelamente (§. 763) e non produrrebbero veruna imagine. Dal valore $x = \frac{p}{d-p} . g$ della grandezza dell'imagine si apprende altresì che, quando l'oggetto sia collocato alla distanza $d = 2p$, cioè nel centro di curvatura, risulta $x = g$, cioè l'imagine ha la stessa grandezza dell'oggetto, come si è notato precedentemente. Inoltre quando $d > 2p$ ossia $d > r$, l'espressione $\frac{p}{d-p}$ riesce sempre più piccola dell'unità e tanto più piccola quanto più è grande la distanza $d$; per cui riesce $x < g$ cioè l'imagine di minor grandezza dell'oggetto.

918. Le medesime norme servono per determinare la forma, la posizione e la grandezza delle imagini degli oggetti veduti cogli specchi convessi, le quali sono sempre virtuali, per la ragione che i raggi dello stesso cono lucido sono riflessi ancor più divergenti (§. 763). Sia AB la sezione dello specchio convesso (fig. 157) di cui F è il fuoco e C il centro geometrico. Dall'estremità M dell'oggetto MN conduco parallelo all'asse il raggio M$p$, il quale è riflesso divergente secondo $pq$ in modo che prolungato al di là dello specchio passa pel fuoco F; e l'altro raggio MD al centro ottico D si riflette nella direzione D$r$ facendo l'angolo di riflessione ED$r$ eguale a quello d'incidenza MDE. Il raggio $r$D, pure prolungato al di là dello specchio, s'incontra col $qp$ nel punto $m$, che è l'imagine virtuale dell'estremo M dell'oggetto. Nella stessa maniera si determina l'altro estremo $n$ dell'imagine corrispondente al punto N dell'oggetto, come pure tutti gli altri intermedii, le cui posizioni sono tutte stabilite dall'equazione $f = \frac{dp}{d+p}$ (§. 765). Da ciò si deduce che l'imagine è simile e similmente posta come l'oggetto e non cessa d'essere virtuale, perchè il valore di $f$ conserva sempre la sua posizione negativa qualunque sia la distanza $d$, cui si colloca l'oggetto. Dall'equazione $f = \frac{dp}{d+p} = \frac{p}{1+\frac{p}{d}}$ si

impara che, all'aumentare di $d$, $f$ aumenta pure, ossia l'imagine virtuale $mn$ si accosta al fuoco F. Talchè quando $d=\infty$, risulta $f=p$ ed allora l'imagine corrisponde al fuoco F dello specchio. La distanza dell'imagine dallo specchio essendo $f=\frac{dp}{d+p}$ mentre $d$ è quella dell'oggetto, staranno esse nel rapporto $\frac{dp}{d+p}:d$, ossia $\frac{p}{d+p}:1$ dove il primo termine essendo una frazione minore dell'unità risulta sempre $f<d$, cioè l'imagine si forma ad una distanza dallo specchio, la quale non cessa mai d'essere minore di quella dell'oggetto.

Per avere la grandezza dell'imagine, si paragonino i due triangoli simili MDE, $m$D$e$, che danno ED : $e$D : : ME : $x$; ossia, sostituendo le denominazioni equivalenti alle linee, $d:f::g:x$, da cui si deduce $x=\frac{f}{d}\cdot g$. Dall'equazione precedente per gli specchi convessi $f=\frac{dp}{d+p}$, ricavando il valore di $d$ e sostituendolo nell'altra eguaglianza, si ha $x=\frac{p-f}{p}\cdot g$ ossia $x=\left(1-\frac{f}{p}\right)g$. Da cui si apprende che *l'imagine è tanto più piccola quanto più lo specchio è di corta distanza focale.* Che se invece nel valore della grandezza $x$ dell'imagine si sostituisce ad $f$ l'espressione equivalente data dall'altra equazione, si ha $x=\frac{p}{d+p}\cdot g$, la quale espressione diminuisce coll'accrescere la distanza $d$ cui si porta l'oggetto, e per ciò *negli specchi convessi l'imagine riesce tanto più piccola, quanto più l'oggetto è allontanato.*

Tutte le deduzioni teoriche degli specchi curvi si verificano coll'esperienza, osservando coi medesimi nella camera nera la fiammella d'un cerino acceso.

919. Quanto si è detto intorno alla visione per mezzo degli specchi curvi, concavi e convessi, riguarda quelli di forma sferica, che servono nella maggior parte dei casi in cui si richiederebbero degli specchi parabolici ed elittici. Si sono date altresì agli specchi forme differenti per ottenere certi particolari effetti d'illusione ottica, piuttosto che per uso delle scienze e delle arti.

A quest'ultima categoria appartengono gli *specchi prismatici*, i quali si compongono di tanti specchi quadrilateri, che formano all'intorno le facce d'un prisma. Essi hanno la proprietà di riunire senza interruzione in una sola imagine più oggetti o più parti del medesimo og-

getto dipinte e separate fra di loro sopra un piano, mentre gli spazi intermedii sono riempiuti di altre figure che per la loro posizione non presentano veruna imagine nello specchio. In tal modo un disegno affatto irregolare e spezzato, veduto con questi specchi, comparisce regolare e riunito producendo delle graziose illusioni ottiche. Lo stesso si dica degli *specchi piramidali*, formati d'altrettanti specchi piani quante sono le facce della piramide.

Dello stesso genere sono gli *specchi cilindrici* e gli *specchi conici*, i quali producono degli effetti più sorprendenti di quelli prismatici e piramidali. Essi si possono considerare nella direzione della loro altezza come una riunione di piccolissimi specchi piani, inclinati fra loro sotto angolo molto ottuso, e nella sezione trasversale come altrettanti specchi convessi. L'imagine per conseguenza non si conserva in questi specchi con tutte le sue dimensioni proporzionali a quelle dell'oggetto o del disegno, venendo impicciolite le trasversali e rimanendo invariabili le longitudinali. Ma se le parti, che sono impicciolite dallo specchio, si delineano d'altrettanto ingrandite lasciando alle altre le giuste proporzioni; allora il disegno, veduto collo specchio, apparisce regolare. Le figure deformi, per questa specie d'illusioni ottiche, si disegnano sopra cartoni in una zona circolare, nel cui centro si colloca lo specchio. Le imagini si osservano generalmente guardando lateralmente negli specchi cilindrici e collocandosi coll'occhio superiormente al vertice in quelli conici. Uno di questi disegni è rappresentato nella figura 158, nel cui centro è collocato lo specchio cilindrico, col quale deve esser veduto. Si costruiscono eziandio degli specchi cilindrici e conici, la cui superficie riflettente è la parte concava interna. I disegni per questi specchi concavi devono avere alcune parti d'altrettanto impicciolite quanto erano ingrandite pei convessi. Siccome i disegni più deformi e bizzarri, veduti per riflessione con tali apparati, si trasformano con grande sorpresa in figure regolari ed eleganti secondo le idee di convenienza e di bellezza; così si chiamano essi comunemente *specchi magici*; i cui disegni sono perciò *anamorfosi catottriche* (§. 912).

Gli specchi formati d'intere sfere seguono nella visione le stesse leggi degli specchi convessi (§. 918). Le imagini in simili specchi sono molto impicciolite, e servono perciò a ridurre in prospettiva un oggetto e ad ottenere l'imagine per disegnare il quadro d'un vasto paesaggio. S'incontrano essi talvolta appesi alla soffitta e pendenti nel gabinetto di qualche uomo d'affari. Si vuole che questi specchi

sferici non siano soltanto di semplice ornamento, che sarebbe ben meschino; ma che servono di mezzo per poter osservare di fronte coloro che si recano a far visita alla persona d'affari senza che se ne avvedano, e così riconoscere dagli atteggiamenti del volto l'impressione che loro fanno i suoi discorsi. Un certo P. Pietro aveva la stanza di ricevimento ornata appunto di uno di tali specchi: il povero uomo è morto in mezzo alle illusioni ottiche.

920. La visione a traverso i mezzi rifrangenti dipende dai principii su esposti e dalle leggi stabilite della diottrica. I mezzi, terminati in superficie piane, non cambiando la mutua direzione dei raggi luminosi da cui sono attraversati (§. 774), non producono alcuna alterazione nelle dimensioni e nella forma dell'oggetto, ma ne cambiano soltanto la posizione. Un oggetto MN immerso nell'acqua contenuta nel vaso AB (fig. 159) è veduto nella posizione *mn*, in causa della rifrazione che subiscono i raggi lucidi nel passare dal livello *ab* dell'acqua nell'aria, dove giungono all'occhio in O. In generale gli oggetti sommersi in qualche mezzo rifrangente diverso dall'aria, in cui ci troviamo, compariscono in luogo differente da quello dove esistono, come altrove si è notato (§. 771). Osservando un oggetto a traverso un mezzo rifrangente a facce parallele, vi ha *dislogamento* e non *deviazione*, in quanto che i raggi uscendo parallelamente a se medesimi non vi ha obliquità e quindi non deviazione. Il dislogamento è tanto più grande quanto più grosso è il mezzo rifrangente.

In una delle precedenti sezioni abbiamo stabilito l'andamento dei raggi luminosi a traverso i prismi, ed all'appoggio di tali principii è facile riconoscere che gli oggetti, veduti con essi, compariranno in posizioni alquanto differenti, e le imagini riusciranno altresì colorate. Se il prisma è rivolto coll'angolo rifrangente all'insù, i raggi luminosi, che lo attraversano, sono abbassati; per cui l'occhio ricevendo questi raggi ne giudicherà l'origine sul loro prolungamento e quindi in posizione più elevata. Succede all'inverso quando si osservano gli oggetti a traverso il prisma coll'angolo rifrangente rivolto all'ingiù. In generale *nella visione col mezzo dei prismi gli oggetti cambiano posizione e compariscono in luoghi più alti o più bassi di quello dove esistono, secondo che l'angolo rifrangente è rivolto all'insù o all'ingiù; e le imagini sono colorate quando il prisma non sia acromatico.* Se, invece d'essere disposto orizzontalmente, il *prisma sia verticale, gli oggetti compariscono più a destra od a sinistra del luogo dove si trovano.* In ogni caso la deviazione è stabilita secondo le leggi precedentemente spiegate (§. 780). Si osservi

altresì che la visione pei prismi può essere impedita dalla grandezza dell'angolo rifrangente in confronto dell'angolo limite della materia, di cui si compone il prisma (§. 777). In certe posizioni la visione ha luogo per riflessione dei raggi lucidi sulla base del prisma.

All'appoggio delle leggi della rifrazione è facile comprendere che l'oggetto *a*, immerso nell'acqua contenuta in un vaso cubico di vetro AB (fig. 160), comparirà duplicato all'occhio O presentando due imagini $x$, $y$. Che se l'occhio, invece d'essere posto di contro allo spigolo del vaso, si collocasse di fronte all'angolo triedro del medesimo in modo da ricevere i raggi lucidi per tre facce; esso vedrebbe l'oggetto *a* triplicato. Parimenti il *moltiplicatore per rifrazione* consiste in un tubo conico *mnae* (fig. 161) ad una cui estremità è assicurato un vetro formato di parecchie faccette *ab*, *bc*, *cd*, *de*, le quali, ricevendo i raggi lucidi dell'oggetto *r*, li rifrangono nel punto *o*, dove si colloca l'occhio dell'osservatore. In tal modo egli vede in $x$, $y$, $z$, $u$ tante imagini di *r* quante sono le faccette rifrangenti. Ponendo in *o* la fiammella d'una candela accesa, compariranno nei punti $x$, $y$, $z$, $u$ altrettanti spettri colorati. Se le faccette sono concave in maniera da impicciolire gli oggetti, allora il piccolo apparato prende il nome di *poliottro*.

921. Le stesse considerazioni, che hanno servito a stabilire le leggi della visione cogli specchi curvi (§. 917), valgono eziandio per le lenti. L'imagine degli oggetti veduti con lenti convesse può essere reale e virtuale secondo la posizione degli oggetti medesimi. Si abbia la lente convessa AB e l'oggetto *mn* posto tra la lente e il fuoco F (fig. 162). Il raggio lucido *mp* parallelo all'asse è rifratto nel fuoco posteriore $f$ (§. 795), e il raggio *mo* condotto pel centro ottico passa irrifratto (§. 794). Questi due raggi sono trasmessi divergenti, come insegna la formola $f = \frac{dp}{d-p}$ (§. 797), per cui prolungati dalla parte opposta s'incontreranno nel punto M, che sarà l'imagine dell'estremo *m* dell'oggetto. Nello stesso modo si determina il punto N dell'imagine dell'altro estremo *n*, e tutti quelli intermedii; ed un occhio collocato posteriormente alla lente vedrà in MN l'imagine virtuale dell'oggetto *mn*, simile e similmente situata ed ingrandita. Giacchè la distanza dell'imagine dalla lente si trova cella stessa equazione anche pei punti dell'oggetto posti fuori dell'asse principale (§. 801), per conseguenza i punti dell'imagine saranno similmente posti come quelli dell'oggetto e l'intera imagine riuscirà simile all'oggetto.

Se l'oggetto $mn$ è posto al di là del fuoco F (fig. 163), si conducono, come precedentemente, i due raggi $mp$, $mo$, che sono trasmessi convergenti per essere nella formola $d>p$, e quindi s'incontreranno in un punto M, che sarà l'imagine dell'estremo $m$ dell'oggetto. Determinando nell'egual maniera l'altro estremo N dell'imagine ed i punti intermedi, ne risulta l'intera MN dell'oggetto, la quale è reale, simile all'oggetto $mn$ e capovolta relativamente ad esso. L'occhio dell'osservatore, collocato alla conveniente distanza, vedrà quest'imagine, la quale, con un oggetto luminoso come la fiammella d'una candela, comparirà nella camera nera galleggiante nell'aria.

I due triangoli simili $meo$, ME$o$ (figg. 162 e 163) danno in ogni caso la proporzione per avere la grandezza $x$ dell' imagine: $eo$ : E$o$ : : $me$ : ME, ossia, sostituendo alle linee le lettere da cui sono rappresentate, $d : f :: g : x$, da cui $x = \frac{f}{d} \cdot g$. Per le lenti convesse è $f = \frac{dp}{d-p}$ (§. 797): sostituendo primieramente il valore di $d$ e poscia quello di $f$, tratti da questa equazione, nell'altra che dà la grandezza dell' imagine, si ha $x = \left(\frac{f}{p} - 1\right) g$ ed $x = \frac{p}{d-p} \cdot g$, dalle quali si deduce, come per gli specchi concavi (§. 917), che *nella visione col mezzo delle lenti convesse l' imagine riesce tanto più grande quanto più la lente è di corta distanza focale*; inoltre *si ha maggior ingrandimento quanto più l'oggetto è collocato vicino al fuoco senza farlo coincidere col medesimo, perchè allora* i *raggi ne emergerebbero paralleli* (§. 797). L'imagine riesce eguale all'oggetto, quando questo si pone alla distanza dalla lente eguale al doppio della focale. Infatti allora è $d = 2p$, e per conseguenza $x = \frac{p}{d-p} \cdot g = g$. Alla distanza $d > 2p$ la grandezza dell'imagine riesce minore dell'oggetto, ed a quella $d < 2p$ la grandezza medesima risulta maggiore.

922. Si abbia ora la lente concava AB, colla quale si guarda l'oggetto MN (fig. 164): condotto al solito dall'estremo M i due raggi M$p$ parallelo all'asse ed M$r$ pel centro ottico della lente, essi ne emergeranno divergenti nelle direzioni $pq$, $or$. Prolungando $qp$ al di là della lente, esso incontrerà l'altro raggio nel punto $m$, che vien ad essere l'imagine dell'estremo M dell'oggetto. Determinando col medesimo processo l'altro estremo $n$ e tutti i punti intermedii, si

ha l'imagine virtuale *mn* dell'oggetto MN, la quale riesce simile e similmente posta dell'oggetto MN.

Dai triangoli simili *meo*, ME*o* si ottiene, come precedentemente, la grandezza dell'imagine $x=\frac{f}{d}\cdot g$. Siccome poi per le lenti concave è $f=\frac{dp}{d+p}$; così, traendo da questa i valori di $d$ e di $f$ e sostituendoli nell'equazione della grandezza dell'imagine, si ha

$$x=\left(1-\frac{f}{p}\right)g,\ \text{ed}\ x=\frac{p}{d+p}\cdot g.$$

Dalla prima delle quali si apprende che *nelle lenti concave l'imagine è tanto più piccola quanto più esse sono di corta distanza focale*; la seconda c'insegna che *la grandezza delle imagini diminuisce al crescere la distanza dell'oggetto dalla lente concava.* Siccome poi, nel valore $x=\frac{p}{d+p}\cdot g$, il coefficiente $\frac{p}{d+p}$ è una quantità frazionaria minore dell'unità; così *nelle lenti concave le imagini risultano sempre in grandezza minori dell'oggetto.* Al pari degli specchi convessi si dimostra poi che nelle lenti concave le imagini virtuali cadono dalla lente a minore distanza dell'oggetto.

I fenomeni della visione pei mezzi rifrangenti si verificano coll'esperienza al pari di quelli degli specchi curvi (§. 918). In vasi cilindrici pieni d'acqua si ottengono le *anamorfosi diottriche* al pari delle catottriche (§. 919).

923. Tutto ciò che si disse intorno alla visione vale per l'occhio sano. Un organo così delicato però è soggetto ad alcune malattie ed imperfezioni, che modificano e talvolta annullano la visione. La medicina si occupa delle malattie dell'occhio, fra le quali la *cateratta* si riscontra più di frequente ed è prodotta da una pellicola opaca, che ricopre il cristallino e produce una cecità più o meno grande. La *gotta serena* è un'altra malattia, nella quale per una paralisi più o meno avanzata il nervo ottico ha perduto la sua sensibilità. In questo caso la cecità può essere assoluta, quando la paralisi è giunta al massimo grado. Il fluido luminoso entra per la pupilla, che conserva la più grande apertura; ma non vi desta più veruna sensazione e per conseguenza non havvi la visione. La gotta serena, quando è giunta ad un certo grado, non ha alcun rimedio, giacchè l'arte medica non conosce verun mezzo per ridonare la vita ad una parte morta e priva d'ogni sentimento. Non è però senza rimedio la cate-

ratta, che la chirurgia ha saputo guarire levando la pellicola opaca oppure riducendola in un canto, dove non impedisca alla luce di giungere al cristallino e di produrre sulla retina l'impressione degli oggetti. La *mosca volante* è un'altra malattia, che offusca la vista e sembra prodotta da esilissime particelle opache che trovansi nell'umor vitreo.

924. Le imperfezioni, che si riscontrano più comunemente, sono lo *strabismo*, la *miopia* ed il *presbitismo*. La prima consiste nel difetto di corrispondenza di direzione degli assi ottici, o nel rivolgere l'occhio in direzione diversa da quella dell'oggetto, che si contempla. Chi ha quest'imperfezione dicesi *losco* ed anche *bircio* o *sbircio*, e comunemente fa meraviglia come egli, per osservare un oggetto, rivolga uno degli occhi e talvolta ambidue per altro verso. Differenti sono le opinioni intorno alla causa di quest'imperfezione: 1° Alcuni la fanno dipendere da una differenza nella facoltà visiva dei due occhi, acquistata coll'abitudine di applicare più frequentemente l'uno dell'altro e di fortificarlo così coll'esercizio nello stesso modo che il braccio destro, usato più frequentemente, è più forte del sinistro; 2° altri l'attribuiscono ad una differenza in origine di potere rifrangente degli umori, per cui l'anima a poco a poco contrae l'abitudine di servirsi soltanto dell'occhio col quale ha un'imagine più netta e distinta; 3° vi ha chi ha pensato consistere un tal difetto nella differenza di sensibilità delle corrispondenti parti dell'occhio, sulle quali si dipingono le imagini; essendo costretti per essa di piegare uno o tutti due gli occhi, nel caso che fosse loro comune, onde ricevere l'impressione degli oggetti sopra parti sane e sensibili della retina; 4° qualcheduno è d'opinione che ne sia causa la diminuzione di trasparenza in porzione del cristallino o degli altri umori, talchè si è costretto di dare alla pupilla diversa direzione, onde i raggi luminosi s'incontrino nelle parti non difettose dei mezzi rifrangenti; 5° infine si vuole che lo strabismo provenga da un difetto di corrispondenza nei muscoli motori degli occhi. Nei differenti casi vi concorre ora l'una ora l'altra delle cause annoverate; l'ultima però è certa, in quanto che l'arte chirurgica è giunta, mediante la sezione di qualche muscolo dell'occhio, ad ottenere la guarigione dello strabismo. Dieffenbach di Berlino infatti ha eseguito con successo parecchie di queste operazioni, alcune delle quali furono annunziate all'Accademia di Parigi nella tornata del 3 febbraio 1840. Wollaston ha imaginato uno strumento per correggere una tale deformità, come pure Rossi ha proposto a tale scopo la costruzione di certi vetri in una sua Memoria

letta all'Accademia di Torino nel giorno 20 gennaio 1828. In generale, per prevenire una tale imperfezione, bisogna con qualche mezzo avvezzarsi per tempo a rivolgere gli assi degli occhi verso l'oggetto che si riguarda.

925. Se nella stessa persona si hanno gli occhi forniti d'ineguale forza, non deve fare sorpresa di riscontrare questa differenza nella vista dei diversi individui. In generale i selvaggi hanno la vista più estesa dei popoli civilizzati, attribuendosene la cagione ad un esercizio più frequente ed alla necessità in cui si trovano di scorgere da lontano la loro preda ed i loro nemici. Ma ne deve essere causa un'organizzazione più forte e più energica dipendente dal metodo di vita: giacchè tra i popoli civilizzati le genti di campagna hanno generalmente buona vista, e nei contadini ben di rado si rinviene chi abbia corta vista tanto comune agli abitanti delle città.

Abbiamo detto altrove che per la comune degli uomini la distanza della visione distinta dei piccoli oggetti, come sarebbero i caratteri stampati, si valuta di 22 centimetri (§. 894). In parecchi individui però la visione distinta ha luogo ad una distanza alquanto differente, essendo per alcuni minore e per altri maggiore. I primi si dicono *miopi* ed i secondi *presbiti*, dando così luogo alle imperfezioni della *miopia* e del *presbitismo*.

La miopia o la vista corta, sia che dipenda da un'eccedente convessità degli occhi sia da una forza rifrangente troppo grande degli umori, ha per risultato che i raggi lucidi, provenienti da un oggetto collocato alla distanza della visione distinta per gli occhi sani, sono rifratti in modo che si riuniscono insieme avanti di giungere sul fondo dell'occhio e colpiscono la retina dopo essersi di nuovo separati producendo sulla medesima la confusione dell'imagine nel modo altrove dichiarato (§. 894). Nell'esperimento istituito coll'occhio artificiale, invece di allontanare l'oggetto per far giungere all'occhio i raggi lucidi meno divergenti, si può sostituire alla lente ordinaria l'altra di minor distanza focale posta nella stessa incassatura (§. 887. In ambidue i casi però l'effetto è il medesimo: i raggi si riuniscono prima di giungere sul vetro appannato e tolgono alle imagini la necessaria nitidezza. È questo precisamente il caso dei miopi, quando guardano gli oggetti alla distanza ordinaria. Per rimediare a tale imperfezione della vista, avvicinano, quando è in loro potere, gli oggetti agli occhi, e con ciò rendono i raggi più divergenti, obbligandoli così a ricongiungersi sulla retina per la formazione delle imagini. Nel caso che gli oggetti non possano essere avvicinati, abbassano le palpebre e ne restrin-

gono quanto più possano l'apertura per lasciar adito a pochi raggi lucidi. In tal modo pervengono a ridurre a quasi un sol raggio che da ogni punto dell'oggetto cade sulla retina, impedendo così che altri raggi del medesimo punto ne intorbidano l'impressione, e ciò conforme ai principii su esposti (§. 885). I miopi, nel socchiudere la palpebra, pare che esercitano qualche pressione sulla parte anteriore dell'occhio, per la quale si diminuisce la convessità della cornea con cui i raggi, nel giungere sul cristallino, conservano maggior divergenza.

Il presbitismo ha un risultato opposto alla miopia in virtù dello schiacciamento dell'occhio o della diminuzione di forza rifrangente negli umori. Qualunque ne sia la causa, i raggi inviati all'occhio dai piccoli oggetti, situati alla distanza ordinaria per le viste buone, non sono ancora riuniti quando cadono sulla retina e vi producono quindi la confusione (§. 894). Si può sperimentare coll'occhio artificiale sostituendo alla lente, che rappresenta i mezzi rifrangenti dell'occhio umano allo stato normale, l'altra lente dotata di minor forza rifrattiva posta nella stessa incassatura dell'apparato (§. 887). È per tal ragione che il presbita non distingue bene alla distanza ordinaria i piccoli oggetti, e per vederli nitidamente li allontana quando può dagli occhi. Con questo allontanamento i raggi vi giungono meno divergenti, ed allora è capace di rifrangerli per farli cadere riuniti sulla retina ed avere la visione distinta.

Vedremo quanto prima, come alle imperfezioni della miopia e del presbitismo siasi rimediato coll'uso degli occhiali, e si ottenga di vedere alla stessa distanza dell'occhio sano.

926. Parecchi animali hanno gli occhi somiglianti a quelli dell'uomo, giacchè essi, trovandosi nelle stesse circostanze di noi, dovevano avere egualmente costrutto il senso che vigila alla conservazione dell'individuo. Nell'occhio del bue, del gatto, della civetta e di parecchi altri animali terrestri la pupilla è elittica per poterla facilmente restringere in luoghi molto illuminati, nel resto è simile al nostro e dotato di maggiore sensibilità vedendo essi nei luoghi oscuri meglio dell'uomo. I volatili sono forniti d'una vista più estesa della nostra, e il loro cristallino è meno convesso, avendo però la cornea più incurvata. L'anatomia ha scoperto negli occhi di questi animali altre particolarità; ma sinora non si riconosce come esse possano dare alla vista degli uccelli un'estensione così sorprendente. La grandezza della pupilla dell'uomo è molto meno variabile di quella di altri animali. I gatti, per es., quando si trovano alla luce solare del pieno meriggio,

restringono moltissimo la pupilla, la quale rassomiglia ad una lunga fessura capace soltanto di ammettere pochissima luce. Questa luce diradata è però ancor sufficiente, affinchè quegli animali abbiano durante il giorno una vista perfettissima e mirabile. Nella notte poi la pupilla del gatto s'ingrandisce in modo che forma un largo cerchio capace di ammettere un gran numero di raggi e di giungere a vedere in luoghi oscuri, dove la luce riesce insensibile all'occhio umano il meglio organizzato. Si danno altresì alcuni animali, che sono dotati d'un organo ancor più delicato di quello del gatto, e mentre di giorno vivono rintanati nell'oscurità, perchè la luce del sole anche diffusa abbaglia la loro vista, la notte per essi diventa giorno. Bisogna certamente che essi non abbiano la facoltà di restringere la pupilla quanto basti a difendere il loro occhio dall'impressione troppo forte della luce del giorno.

Gli occhi dei pesci non hanno umor acqueo, la cui forza rifrangente diferirebbe troppo poco dal mezzo in cui vivono. La cornea invece è molto sagliente e il cristallino molto vicino alla cornea. Ciò che sorprende è la struttura degli occhi di alcuni insetti, come le mosche, le farfalle ecc. L'organo della visione è disposto a facette come un poliedro, e ciascuna facetta presenta un occhio compiuto, fornito cioè dei suoi umori e capace di formare l'imagine particolare. Questi occhi sono somiglianti al poliottro (§. 920). Per vedere gli oggetti semplici è necessario che tutte le imagini prodotte da ciascuna facetta corrispondano ad uno stesso centro o punto sensibile, di cui non si conosce la posizione. I filamenti nervei si estendono sino sotto la cornea, e gli occhi sono immobili. Si danno altresì alcuni esseri, nei quali non si è trovato verun organo proprio alla visione come sono parecchi vermi ed i molluschi. La struttura dell'occhio nel regno animale e la maniera con cui si opera la visione nelle diverse specie ci guidano a riconoscere con ammirazione l'infinita sapienza del Creatore.

927. Da quanto sinora si è detto intorno alla visione si deduce che, non solo il senso della vista è compostissimo e delicato, ma per usarlo rettamente è d'uopo esercitarlo per apprendere dallo stato apparente quello reale, a cui ci applichiamo sin dall'infanzia. Colle dottrine della scienza della luce siamo giunti altresì a comprendere molte illusioni e parecchi fenomeni riguardanti la visione. A dilucidazione delle dottrine spiegate riportiamo alcuni fatti di ciechi, ai quali è stata ridonata la vista.

Cheselden ci ha dato la storia di un giovine cieco di 13 anni, cui

donò la vista (1). Questi al principio non seppe distinguere i colori; tuttavolta trovò che il rosso gli riusciva il più aggradevole di tutti gli altri colori. La prima volta che egli vide il nero fu atterrito, e non si accostumò a quella vista che dopo un certo tempo. Non conosceva veruna figura, non poteva distinguere un corpo dall'altro quantunque avessero diversa forma e grandezza. Gli oggetti distanti gli credette dapprima appoggiati sui propri occhi, e dal momento che conobbe col tatto che esistevano fuori di lui, gli abbisognò ancora qualche tempo per giudicare della loro grandezza e distanza. Dapprima gli sembrava solido tutto ciò che gli stava davanti agli occhi, provando egual sensazione tanto dai monti posti a distanza quanto dagli oggetti vicini. Aveva al principio creduto che la camera, ove si trovava, fosse più grande della campagna che scorgeva dalla finestra, e si accorse della loro differente grandezza soltanto allora che uscendo percorse la campagna, che aveva veduto. Gli furono altresì necessarii più mesi per ben distinguere col tatto gli oggetti vicini da quelli che vedeva in distanza.

Le osservazioni di Cheselden sono confermate da quelle fatte da altri fisici. Grant ha verificato pressochè i medesimi risultati in un cieco nato, cui levò la cateratta all'età di 20 anni (2). Più recentemente Ware riferiva che due giovanetti, rimasti ciechi all'età di un anno, appena venne loro levata la cateratta giudicarono con abbastanza giustezza della grandezza e della distanza, come pure della forma di alcuni corpi angolari (3). Si osservi però che la cecità per cateratta non è sempre assoluta, per cui si riceve qualche impressione sulla retina atta a dare dei colori, delle grandezze e delle distanze qualche idea, che facilmente e sollecitamente acquista maggiore giustezza una volta siasi resa libera la visione colla rimozione dell'ostacolo, che la impediva. Infine Home racconta (4) di due giovanetti ciechi dalla nascita, ai quali levò la cateratta, non avendo il primo mai potuto distinguere i colori durante la cecità, non seppe dopo l'operazione dare giudizio nè delle grandezze, nè delle distanze degli

(1) Si veggano le *Transazioni filosofiche* della Società Reale di Londra del 1728, t. XXXV, pag. 402 e pag. 447, come pure il *Cours complet d'optique*, di Smith, tradotto dall'inglese, t. I, pag 87.

(2) *Gazette littéraire de l'Europe*, del marzo 1764.

(3) *Bibliothèque Britanique*, t. XXX, pag 220.

(4) *Transazioni filosofiche* succitate del 1807, pag. 83, e *Bibliothèque Britanique*, t. XXXVII, pag. 85.

oggetti; mentre il secondo, che nel suo primitivo stato si accorgeva un poco dei colori, giunse tosto a distinguere le grandezze e ad aver idea delle distanze (1).

Per mezzo dell'esperienza e dell'esercizio impariamo dunque a vedere rettamente ed acquistiamo quella prontezza, con cui in un istante combiniamo differenti sensazioni e portiamo per conseguenza sicuro giudizio su ciò che esiste fuori di noi. Il senso della vista può quindi acquistare un maggiore perfezionamento, quando si applica a qualche uso speciale e si esercita senza soverchiamente stancarlo. Infatti i suonatori di qualche strumento hanno l'occhio così esercitato, nel distinguere le note musicali, che ne leggono con rapidità un grandissimo numero mentre colle dita trascorrono sui tasti del gravicembalo, sulle corde del violino o sui fori e le chiavi del clarinetto. Il P. Bernareggi di Lodi si era esercitato a valutare ad occhio l'altezza degli oggetti, come case, alberi, ecc., ed era riuscito così perito in tali valutazioni, che di poco ne sbagliava la misura. Parecchi ingegneri hanno l'occhio così esercitato sull'estensione, che giudicano con giustezza alla semplice vista della grandezza d'un campo. In generale dunque, per non essere illusi nella visione, è necessario di mettere a confronto lo stato reale degli oggetti con quello apparente, ed esercitare il senso della vista in tali confronti. L'aver *buon occhio* riesce in parecchie vicende della vita di grande vantaggio.

928. Coi corpi riflettori e rifrattori, separatamente disposti od assieme riuniti in conveniente armadura, si forma *lo strumento e la macchina d'ottica*, od in generale gli *apparati ottici*. Essi sono formati di specchi, di lenti, e di vetri d'ogni sorta, pei quali i raggi lucidi degli oggetti pervengono all'occhio con alterazione nella grandezza, posizione, distanza, figura ecc. Gli apparati ottici si possono dividere in due classi: nella prima si comprendono quelli che servono a correggere i difetti della vista ed a sussidiarla per vedere degli oggetti, che altrimenti sfuggirebbero al nostro occhio o per la loro picciolezza, o per la loro distanza, o per la situazione in cui sono posti; alla seconda appartengono gli altri, che sono di pura curiosità o di semplice divertimento, e non si prestano quindi in un modo così immediato ai bisogni degli uomini.

Lo spazio, che l'occhio abbraccia guardando per mezzo dell'appa-

(1) Molti altri fatti consimili si trovano nell'opuscolo *Notice sur le développement de la lumière et des sensations dans les aveugles nés, à la suite de l'opération de la cataracte faite par Forlange*. Parigi 1820.

rato ottico, dicesi *campo*. Esso si misura dal doppio angolo, che fa uno dei raggi estremi giunti all'occhio colla linea rappresentante l'asse comune alle lenti ed agli specchi componenti l'apparato.

Nelle lenti e negli specchi d'un apparato ottico si deve altresì aver riguardo all'*aberrazione di sfericità*, di cui si è fatto cenno altrove (§. 814). Abbiamo più volte rammentato che gli specchi concavi e convessi come pure le lenti di forma sferica non radunano nel fuoco i raggi che si discostano molto dall'asse, e per avere una sensibile concentrazione dei raggi luminosi in quel punto bisogna limitarne l'apertura, la quale, come si disse, non deve mai oltrepassare 23 o 24 gradi. Questo limite viene determinato dal calcolo, appoggiato alla sensibilità dell'occhio per accorgersi della non coincidenza dei raggi riflessi o rifratti nel punto della loro riunione sull'asse. Nella costruzione degli apparati ottici, si ammette che quei corpi riflettori e rifrattori non abbiano un'apertura maggiore della notata, per evitare la confusione delle imagini, che appariscono guardando con essi gli oggetti. In generale si è trovato che l'aberrazione di sfericità nelle lenti è di circa 7 volte e mezzo maggiore che negli specchi. In quanto alle lenti bisogna altresì prendere in considerazione l'*aberrazione di rifrangibilità*; ed a tal riguardo si è dato un'idea per correggere questa causa, per cui risultano confuse le imagini degli oggetti che si osservano cogli apparati (§§. 815 e 819). L'aberrazione di sfericità è molto minore di quella di rifrangibilità: a malgrado di ciò la prima ha maggiore influenza della seconda sulla confusione delle imagini. Infatti in una lente, in cui sia distrutta l'aberrazione di forma, i raggi medii più splendenti e forti si riuniscono in un sol punto ove dipingono l'imagine netta e precisa, sulla quale non hanno sensibile influenza gli altri colori, che si dispongono all'intorno. Ma in una lente acromatica, nella quale esiste l'aberrazione di sfericità, l'imagine non è distinta e riesce confusa.

929. Gli apparati ottici più importanti, per l'utilità che portano all'uomo, sono gli *occhiali*, destinati, come ognuno sa, a riparare le imperfezioni d'una vista divenuta troppo stanca per l'età o confusa per una viziosa costruzione dell'occhio. Essi servono al miope ed al presbita per rimediare alle loro imperfezioni e per conservare la vista di coloro dotati di troppa sensibilità dell'occhio. Gli occhiali sono formati di lenti concave o convesse ed anche di vetri piani, secondo lo scopo cui devono servire. L'epoca di questa scoperta risale al finire del secolo XIII, e l'invenzione è dovuta all'italiano Salvino degli Armati, come consta dall'iscrizione posta sopra una lapide nella chiesa di

S. Maria Maggiore di Firenze, dove giace la salma di lui. Redi, in una lettera al Falconieri, opinò doversi probabilmente l'invenzione degli occhiali ad altro italiano, Alessandro Spinola, morto nel 1312. Nelli però nella vita di Galilei discute con molta perizia la questione se gli antichi conoscevano i vetri lenticolari e conchiude colla negativa, mostrando che l'invenzione degli occhiali risale verso l'anno 1285, attribuendola all'Armati morto nel 1317.

A quell'epoca comparirono gli occhiali pei presbiti, mentre quelli pei miopi incominciarono ad adoperarsi assai più tardi, essendo venuti soltanto in uso nello scorso secolo XVIII. I giovani miopi, per una ridicola vergogna, rifiutavano quel soccorso ed anteponevano di vivere in una continua privazione della vista di tanti oggetti, piuttosto che di portare gli occhiali, che sino allora erano stati veduti soltanto sulla fronte dei vecchi. Alfine fu superata una tale malintesa prevenzione, ed i miopi ora non rifiutano l'uso degli occhiali, pei quali sono posti in relazione con un gran numero di oggetti, che senza i medesimi non vedrebbero.

Il difetto del presbita consiste in una diminuzione di forza rifrangente del sistema lenticolare degli occhi (§. 925), per cui colle lenti di convergenza si può aiutare la deficienza di quella forza e correggere così il presbitismo. Gli occhiali infatti consistono in due lenti di leggier convessità assicurate in apposita armadura per essere applicate alla fronte in modo che il centro ottico di ciascuna lente corrisponda all'asse dell'occhio rispettivo. Con queste lenti è diminuita la divergenza dei raggi incidenti pervenuti all'occhio, e sono disposti per conseguenza, in virtù degli umori rifrangenti, a riunirsi sulla retina. L'effetto degli occhiali pel presbita si dimostra coll'occhio artificiale (§. 887), disponendo dapprima la fiammella del cerino per avere l'imagine distinta sul vetro smerigliato colla lente di mezzo, corrispondente ai mezzi rifrangenti dell'occhio sano. Girando l'ordigno, si fa corrispondere al foro del globo la lente meno convessa rappresentante i mezzi rifrangenti del presbita, con che apparisce tosto confusa l'imagine sul vetro smerigliato. L'apparato ha unito esternamente due lenti, l'una convessa e l'altra concava disposte in apposita incassatura. Ponendo avanti all'occhio artificiale quella convessa, l'imagine sul vetro riacquista la primitiva nitidezza.

L'occhio dei miopi è dotato d'un'eccedenza nella forza rifrangente degli umori (§. 925); per cui i loro occhiali consistono in due lenti leggermente concave applicate pure alla fronte in apposita armadura. I raggi, prima di giungere sull'occhio, diventano maggiormente di-

vergenti, e in tal modo, a malgrado dell'eccedenza di forza rifrangente degli umori, si riuniscono sulla retina, dove vi dipingono l'imagine nitida e distinta. L'effetto degli occhiali pel miope si dimostra egualmente coll'occhio artificiale, disponendo la fiammella del cerino alla distanza per la distinzione dell'imagine colla lente rappresentante l'occhio sano. S'introduce poscia la lente di maggiore convessità, che figura l'occhio dei miopi, e l'imagine diventa tosto confusa. Ma portando avanti all'occhio la lente concava, l'imagine ritorna ad essere distinta.

Da quanto si disse s'intende che gli occhiali destinati pel presbita non possono servire pel miope, e viceversa; imperocchè produrrebbero effetti contrari a quelli che ciascuno cerca. Al momento che si incomincia a far uso degli occhiali si trova una variazione nello stato apparente dei corpi; e per conseguenza si prova un'alterazione che incomoda, come differente dalle ordinarie abitudini. Ben presto però si riconosce il vantaggio che ne ridonda dal loro aiuto, e cogli occhiali si deve, in certo qual modo, imparare a vedere come nella prima età l'apprendiamo ad occhio nudo (§. 927).

930. Alcuni ottici hanno enumerati gl'indizi, che mostrano il bisogno degli occhiali, e sono: 1° Quando più del consueto si devono allontanare dagli occhi i piccoli oggetti per vederli distintamente; 2° quando nelle ordinarie occupazioni si richiede una luce più intensa del solito; 3° quando gli oggetti vicini attentamente osservati incominciano a comparire confusi e come coperti d'una tenue nebbia; 4° quando nel leggere e nello scrivere appariscono doppie le lettere, scorrono e si sovrappongono le une sulle altre; 5° quando gli occhi *facilmente* si stancano, per cui devonsi sovente chiudere o dirigere sopra altri oggetti per continuare nell'ordinaria applicazione. Tosto che si presenta l'uno o l'altro di tali indizi è giunto il tempo d'incominciare l'uso degli occhiali, affinchè l'organo della vista non vada sempre più deteriorando e si conservi invece in istato di prestare il suo uffizio.

Importa di usare ogni diligenza nella scelta delle lenti per gli occhiali, adottando quelle colle quali si legge facilmente alla distanza voluta per gli occhi sani. Si dovrà altresì aver attenzione se il difetto della vista va facendosi più grande, perchè in tal caso si richieggono lenti più forti. Non conviene però cambiarli frequentemente e senza bisogno, adoperando sopratutto sempre i proprii occhiali, giacchè l'uso promiscuo è molto nocevole. Le lenti non devono esser poste alquanto distanti dagli occhi, perlocchè l'armadura deve essere costrutta in

modo da portarle alla distanza fissa e determinata, in cui i loro centri ed assi coincidono coi centri e cogli assi degli occhi. È da rimproverarsi perciò l'uso delle lenti poste in apposita incassatura, ed applicate ogni volta all'occhio colla mano. Imperocchè la lente non viene mai collocata nella medesima posizione, e si varia così in ogni caso la condizione dell'occhio che pregiudica alla vista. Le lenti infine devono essere lavorate da abili e diligenti artefici, ben pulite, di limpido vetro scevro di bolle e di filamenti, per non produrre delle irregolarità nella rifrazione che riescono dannose.

Siccome l'occhio deve spesso rivolgersi da una parte o dall'altra per guardare degli oggetti, che non abbiamo direttamente di fronte; così si è trovato proficuo di adottare per gli occhiali le lenti della forma concavo-convessa, rivolgendo all'occhio la superficie concava. Riguardo al buon effetto di queste lenti ha fatto alcune considerazioni il prof Santini (1), secondo le quali la superficie anteriore della lente dovrebbe appartenere ad una sfera avente per centro il punto intorno a cui ruota l'asse della pupilla nel volgersi dell'occhio. Gli *occhiali periscopici* sono costrutti appunto secondo tali principii.

931. Gli *occhiali di conserva* sono altri apparati di questa specie ad uso di coloro che hanno un organo molto sensibile, che è abbagliato dalla bianca luce del pieno giorno. Le lenti di questi occhiali sono di grandissima distanza focale e meglio ancora semplici vetri piani, essendo ordinariamente di color verde od azzurro. Il loro uso può in parecchi casi riuscire pregiudicievole, principalmente se le lenti non sono semplici vetri piani. Infatti, per quanto debole sia il loro grado di rifrangibilità, tendono però sempre ad alterare alcun poco lo stato dell'occhio. Inoltre il color verde od azzurro dà agli oggetti un aspetto diverso, e quando si levano dagli occhi tutto all'intorno sembra tendere al violaceo-rossastro od al rosso-aranciato, per cui alterano l'occhio. Quando non siano abitualmente tenuti, la differenza di colore e di splendore è nociva, e per conseguenza essi non si devono usare che in caso di assoluta necessità, in cui per una malattia la vista resti molestata nel mirare gli oggetti ad occhio nudo.

Affinchè questi occhiali siano veramente utili, bisogna che i vetri non trasmettano raggi fra loro troppo distanti nello spettro, e che i colori trasmessi, producendo lo spettro più stretto, siano però dotati del maggior grado d'illuminazione. Un vetro che assorbisca i colori intermedii, trasmettendo soltanto i rossi ed i violacei, sarebbe

(1) *Teorica degli strumenti ottici*. Padova 1828, t. I, pag. 94.

nocevole. Brewster ha dedotto da molte sperienze che il miglior di tutti per gli occhiali di conserva è il vetro di colore *gialliccio-verde*. Questo vetro assorbe gli estremi rosso e violaceo dello spettro, e perciò solleva l'occhio non solo diminuendo i raggi, ma migliorando le imagini impedendo la confusione, che potrebbe nascere dalla differente rifrangibilità dei raggi (*Edinburgh Philos. Jour.*; t. VI, p. 104).

932. Parlando degli occhiali, si è veduto quanto importi di scegliere delle lenti di distanza focale conforme alle viste per le quali devono servire (§. 929), come pure di cambiarle al bisogno se la vista subisce qualche cambiamento (§. 930). Si presenta quindi naturalmente il problema: *Determinare la distanza focale delle lenti che sono necessarie pel miope e pel presbita.*

Sia $a$ la distanza cui può leggere un occhio difettoso, e si riguardi l'occhio come una lente convessa di distanza focale $p$ situata nell'apertura della pupilla, essendo $f$ la distanza della pupilla dalla retina. In questo caso la distanza, cui si riuniscono i raggi che attraversano l'occhio, sarà pure $f$ e si avrà (I) $f=\frac{ap}{a-p}$ (§. 797). Si chiami ora $x$ la distanza focale principale dalla lente che, applicata all'occhio del presbita, dà distinta la visione alla distanza $a'$ ed $f'$ la corrispondente distanza dalla lente del punto di riunione dei raggi provenienti dalla stessa distanza $a'$. Si avrà dunque per questa lente (II) $f'=\frac{a'x}{a'-x}$. Nel caso che la lente sia applicata all'occhio, i raggi lucidi dell'oggetto, che si trova alla distanza $a'$ per la visione distinta, diventano convergenti e si riunirebbero al di là del sistema lenticolare dell'occhio alla distanza $f'$. Sarà dunque per l'occhio in questo caso $f'$ negativo, ossia come se i raggi venissero dal di dietro dell'occhio da quella distanza, e quindi si avrà (III) $f=\frac{-f'p}{-f'-p}=\frac{f'p}{f'+p}$. Eguagliando questo valore di $f$ con quello dell' equazione (I) si ha $\frac{ap}{a-p}=\frac{f'p}{f'+p}$ da cui si deduce $f'=-a$. Sostituendo questo valore di $f'$ nella (II) risulta $-a=\frac{a'x}{a'-x}$, da cui si ottiene tosto $x=\frac{aa'}{a-a'}$, che esprime la distanza focale della lente da applicarsi al presbita che legge alla distanza $a$, onde possa leggere a quella $a'$ della visione distinta. Pel miope, la lente dovendo essere concava, l'equazione (II) è $f'=\frac{a'x}{a'+x}$; e quando è applicata all'occhio $f'$ è positivo

e l'equazione (III) risulta $f=\frac{f'p}{f'-p}$. Eguagliando i due valori di $f$, si ha $\frac{ap}{a-p}=\frac{f'p}{f'-p}$, da cui si ricava $f'=a$. Il qual valore, sostituito nell'equazione (II), dà $a=\frac{a'x}{a'+x}$, e quindi $x=\frac{aa'}{a'-a}$, che esprime la distanza focale della lente pel miope, che legge alla distanza $a$, per leggere a quella $a'$ della visione distinta. Sapendosi che la lente pel miope è concava, si può ritenere la medesima equazione $x=\frac{aa'}{a-a'}$, colla quale in tal caso $x$ risulterà negativo.

Per mostrare l'uso di questa formola, *legga un presbita alla distanza di* 66 *centimetri, qual distanza focale dovranno avere le lenti de' suoi occhiali per leggere alla distanza ordinaria di* 22 *centimetri?* Sostituendo questi valori nella formola, si ha $x=\frac{66\times22}{66-22}=33$, cioè la distanza focale rischiesta è di 33 centimetri. *Un miope legge alla distanza di* 12 *centimetri, di quale distanza focale si prenderanno le lenti dei suoi occhiali; affinchè possa leggere alla distanza comune di* 22 *centimetri?* Introducendo questi dati nella formola, risulta $x=\frac{12\times22}{12-22}=-26,4$. Le lenti richieste devono essere di centimetri 26,4 di distanza focale.

933. Nel problema del paragrafo precedente si suppone che sappiasi esattamente misurare la distanza, cui leggono il presbita ed il miope, per avere la distanza focale delle lenti proprie ai loro rispettivi occhiali. La misura si ottiene in tal caso con maggiore esattezza mediante l'istrumento apposito altrove accennato (§. 894). Esso è conosciuto presso di noi col nome di *ottimetro*, detto dagli stranieri *optometer*, *optimètre*, *opsiomètre*, secondo il radicale del nome della scienza nella loro lingua (1). La prima idea di questo apparato ottico risale sino al trascorso secolo; poscia fu successivamente migliorato, e noi ci facciamo a descrivere quello che venne generalmente adottato.

Per comprendere il principio su cui è fondato l'ottimetro, sia R un punto lucido, *ab* un corpo opaco (fig. 165), *cd* una lente convessa ed

(1) Si vegga l'opera *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. IV, p. 1387, e t. VIII, pag. 751, come pure il *Bulletin* ecc. di Ferussac, t. XII, pag. 417.

infine *ef* una superficie, sulla quale si ricevono i raggi lucidi concentrati nel fuoco della lente. Nel corpo *ab* sono praticati due fori egualmente distanti dall'asse della lente, pei quali passano due raggi luminosi che si riuniscono nel fuoco dove è posto il piano *ef*. Sul piano *gh* più vicino alla lente e sull'altro *mn* più distante si formano al contrario due imagini distinte del punto lucido R. Ora, se si allontani dalla lente il punto lucido R e si porti in *r*, i due raggi, essendo meno divergenti, si riuniranno prima (§. 921) e poscia separandosi produrranno sul piano *ef* la doppia imagine, mentre se si accosti in *r'* i due raggi stessi giungeranno sopra *ef* ancor disgiunti, ed apparirà pure la doppia imagine. Vi ha dunque una posizione determinata per avere dal punto lucido una sola imagine, ossia per vederlo distintamente.

All'appoggio di questo principio si è costrutto l'*ottimetro* per determinare la distanza della visione distinta propria ad ogni occhio. Esso consiste in un tubo *abcd* della lunghezza di circa 32 centimetri, nel quale ne entra esattamente, alla foggia dei cannocchiali portatili, un secondo *efgh* della medesima lunghezza (fig. 166). Verso l'estremità *ad* è applicata una lente convessa della distanza focale di 13 in 14 centimetri, la quale è per intiero coperta meno in due parti egualmente distanti dal centro ottico, che hanno la forma di fessure parallele distanti fra loro di circa un millimetro e della lunghezza di 7 colla larghezza di 0,8 millimetri. Il tubo interno è verso *eh* chiuso da una lamina d'ottone, nella quale è praticata una fessura parallela a quelle della lente della larghezza al più di millimetri 0,12. All'estremità *fg* il tubo e chiuso da un vetro piano smerigliato.

L'istromento si rivolge dalla parte del vetro smerigliato verso la luce del giorno come si fa d'un cannocchiale, e l'occhio, collocato dalla parte opposta, vede due striscie luminose quando i due tubi sono posti per intiero l'uno nell'altro. Quando invece si estrae il tubo interno per una certa lunghezza, ossia si allontana dalla lente la fessura della lamina, allora, pel principio precedente, le striscie si avvicinano e ad un certo punto si confondono in una sola, ma ad una maggiore estrazione la striscia luminosa si divide di nuovo in due. Per l'occhio miope si richiede minor estrazione del tubo e pel presbita maggiore, onde passare da due striscie luminose e vederne una sola, e si comprende facilmente che la distanza, percorsa sopra *ab* dalla fessura illuminante *eh* per passare a vedere una sola striscia lucida, esprime quella della visione distinta dell'occhio, colla quale poscia si trova la distanza focale delle lenti per gli occhiali. L'istru-

mento però è fornito d'una scala, la quale dà a dirittura la distanza focale della lente per l'occhio con cui si sperimenta. La posizione *mn* appartiene alla visione distinta per la vista normale, e si determina con persone conosciute pel loro buon occhio, prendendo il termine medio dei risultati senza differire essi dal medesimo più di 2 in 3 millimetri. La scala poi si segna colla formola $x=\frac{d^2}{f-d}$, dove $d$ è la distanza della fessura illuminante *eh* dalla lente dello strumento, $f$ la distanza focale della lente per gli occhiali ed $x$ l'intervallo della scala contato da *mn*, essendo $f$ positiva per le lenti convesse ad uso degli occhiali pei presbiti e negativa per quelle concave ad uso dei miopi. Questa formola è dedotta con considerazioni fondate sui principii spiegati intorno alle lenti. Ma senza la scala, basta misurare in millimetri la distanza della fessura illuminante *eh* dalle due fessure sulla lente, per ottenere la distanza cui legge l'occhio senza l'uso degli occhiali e calcolare la distanza focale propria delle lenti pei medesimi mediante la formola del paragrafo precedente.

934. L'uomo ha bisogno di mezzi più potenti degli occhiali per vedere degli oggetti, che gli stanno davanti e sfuggono al suo occhio o per la loro estrema picciolezza o per la loro grande lontananza. In tal modo giunge ad osservare un nuovo mondo nel quale si scorgono meraviglie sempre più sorprendenti, che dimostrano l'infinita intelligenza del Facitore del creato. Incomincieremo da quelli della prima categoria.

Lo strumento, col quale si vedono ingranditi e distinti i piccoli oggetti, chiamasi *microscopio*, che si compone di lenti e di specchi. Se ne danno diverse specie, primieramente i *microscopi semplici* ed i *microscopi composti*: si dicono semplici se sono fatti d'una sola lente o d'un solo specchio, composti se di più lenti soltanto o di lenti e specchi combinati assieme. In secondo luogo quelli che sono fatti di sole lenti si dicono *microscopi diottrici*, gli altri, composti di lenti e di specchi, *microscopi catadiottrici*.

Una lente biconvessa a corta distanza focale, posta in incassatura d'osso o di metallo, serve comunemente come microscopio semplice. Essa si mette avanti l'oggetto, da essere esaminato, tenendola colla mano. Ma riesce incomodo e difficile a conservarla ad una distanza tale dall'oggetto per ottenere la visione distinta. Imperocchè l'oggetto deve essere situato in modo che non si produca un'imagine reale, la quale cadrebbe sull'occhio applicato vicino alla lente e non avrebbe la distanza di 22 centimetri voluta per essere veduta distin-

tamente (§. 894). Abbiamo già notato che, per avere l'imagine virtuale situata anteriormente alla lente come l'oggetto, bisogna che questo sia collocato tra il fuoco e la lente stessa e molto vicino al fuoco medesimo per avere maggiore ingrandimento (§. 921). È per ciò che nel *microscopio semplice* il meglio combinato la lente è collocata in un anello di metallo fornito di un'asticella, colla quale è assicurata orizzontalmente ad una colonnetta verticale piantata sopra un basamento. Al disotto della lente corrisponde un piano di vetro sostenuto pure dalla colonnetta, sul quale si colloca l'oggetto da essere esaminato e che chiamasi per ciò *portoggetti*. Importa inoltre che l'oggetto sia vivamente illuminato, affinchè la luce, diradandosi coll'ingrandimento, non riesca troppo debole per vederlo distintamente (§. 891). A tal fine è applicato al di sotto del portoggetti uno specchio concavo, col quale, concentrando la luce diffusa del giorno o quella della fiamma d'una candela, si dirige sulla superficie inferiore dell'oggetto, che, essendo trasparente per la sua piccolezza, riesce illuminato in ogni sua parte. Si suole anche concentrare la luce con una lente convessa posta lateralmente al portoggetti, dirigendola superiormente sull'oggetto.

L'oggetto dunque deve *essere collocato ad una distanza dalla lente minore del fuoco*, affine di avere l'imagine virtuale situata nella posizione per la visione distinta. Ma essa pel miope e pel presbita differisce da quella per l'occhio sano (§. 925), per cui in ogni caso dovrà variare la posizione dell'oggetto. Questa posizione si ha dall'equazione $f=\frac{dp}{d-p}$ prendendo $f$ negativo (§. 797), da cui si ricava $d=\frac{pf}{p+f}$. Se la lente ha un centimetro di distanza focale si ha $p=1$, e quindi $d=\frac{f}{f+1}$, dove per l'occhio sano è $f=22$ centimetri (§.894), e perciò $d=\frac{22}{23}$, cioè colla lente di 1 centimetro di distanza focale l'oggetto si colloca a $\frac{22}{23}$ dalla medesima affinchè sia veduto distintamente. Pel miope invece, che ad occhio nudo vedesse alla distanza di 12 centimetri, si trova nello stesso modo $d=\frac{12}{13}$, cioè dovrebbe l'oggetto essere posto a tale distanza dalla lente. Il presbita invece

che richiedesse nella visione ad occhio nudo la distanza di 50 centimetri, colla lente dovrebbe collocare l'oggetto a $d=\frac{50}{51}$, cioè quasi nel fuoco della lente. Da qui si scorge la necessità che nel microscopio il portoggetti sia mobile.

Si è convenuto di chiamare *lenti microscopiche* quelle che al più hanno la distanza focale di centimetri 1,3. Colla lente infatti di centimetri 1,3 di distanza focale un oggetto della grandezza di $\frac{1}{20}$ di millimetro, che già non si scorge più ad occhio nudo, sarebbe veduto appena della grandezza apparente di millimetri 0,8, vale a dire minore di un millimetro, come si apprende dalla formola $x=\frac{f-p}{p}\cdot g$ (§. 921), con cui, per $f=220$ millimetri distanza della visione distinta (§. 894), per $p=13$ e $g=\frac{1}{20}$, si trova appunto la grandezza apparente $x=0,8$. Le lenti dei microscopi semplici sono d'ordinario di distanza focale minore di centimetri 1,3, a meno che non debbano servire per osservare più distintamente degli oggetti, che si vedano anche ad occhio disarmato.

In pratica l'*ingrandimento*, prodotto da un microscopio semplice, *si valuta dal quoziente della distanza della visione distinta divisa per la distanza focale della lente microscopica.* Questa regola si ricava dalla formola $x=\frac{f}{d}\cdot g$ trovata superiormente (§. 921), nella quale, essendo collocato l'oggetto molto vicino al fuoco della lente, si prende $d=p$. L'ingrandimento in tal caso è il lineare, e non bisogna confonderlo con quello di superficie e di volume; giacchè questi seguono rispettivamente la ragione del quadrato e del cubo di quello lineare. Talchè, se la lente produce l'ingrandimento lineare di 20, quello della superficie risulta di 400 e del volume di 8000. Allorquando si nota coll'ultimo numero l'ingrandimento prodotto da una lente microscopica, il che produce un effetto lineare equivalente soltanto alla radice cubica del numero dato; chi osserva l'oggetto, ritenendo che l'ingrandimento sia lineare, resta meravigliato di non trovarlo corrispondente alla grandezza asserita.

935. Un microscopio semplice, utile ai naturalisti per osservare dei piccoli oggetti, è quello di Stanhope, dove è fissa la giusta distanza a cui collocare l'oggetto, per vederlo distintamente. Esso

consiste in un cilindro di cristallo *or*, terminato alle due estremità in superficie sferica (fig. 167) ed assicurato ad una viera *àb* di metallo munita del manico *m*. Si applica l'oggetto microscopico alla superficie *r*, cui sta aderente per la semplice umidità, s'introduce il dito indice nell'anello *m* del manico, e si rivolge lo strumento verso la luce diffusa del giorno applicando l'occhio in *o*. La superficie *o* costituisce una lente convessa, il cui fuoco cade un poco al di là della superficie *r*, per cui l'oggetto resta collocato fra il fuoco e la lente e si vede ingrandito per l'imagine virtuale che si forma verso la parte anteriore (§. 921).

Il microscopio semplice, di cui si servono i negozianti per esaminare il grano minuto, come riso, frumento ecc., allo scopo di scoprire se è invaso dal tarlo, ha pure il portoggetti fisso. Il tubo d'ottone *abcd* (fig. 168) ha assicurato ad un'estremità la lente microscopica *bc* ed all'altra è chiuso dal disco d'ottone *ad* munito del foro *o*, cui si applica l'occhio dell'osservatore. Al detto tubo si unisce a vite mediante viera di metallo l'altro tubo di vetro *efgh* di lunghezza eguale alla distanza focale dalla lente *bc*. Il fondo di questo secondo tubo è chiuso da un disco di vetro *ef*, sul quale s'introducono i grani da essere esaminati. Questi grani sono illuminati superiormente dalla luce, che entra per la superficie laterale del tubo di vetro ed al di sotto da quella che penetra pel disco pure di vetro. L'occhio vede da *o* i grani ingranditi, essendo collocati tra la lente ed il fuoco della medesima.

Un microscopio semplice a portoggetti fisso si forma con una piccola sfera di vetro cava *s* piena d'acqua (fig. 169) o d'alcoole somigliante al bulbo dei termometri, munita del gambo *ab*, che serve di manico. Al gambo è assicurata l'asticella *cd*, che si piega a squadra, e coll'estremità *r* corrisponde quasi al fuoco della lente sferica *s*. In *r* si attacca l'oggetto microscopico, il quale si vede ingrandito coll'occhio applicato alla parte opposta *o*.

936. L'ingrandimento d'un microscopio è tanto più considerabile quanto più la lente è di corta distanza focale (§. 921), perciò le piccolissime lenti per tal uso si ottengono facendo fondere all'estremità una bacchetta di vetro, da cui una parte si distacca sotto forma di goccia, che si riconsolida in globetto o in una lente biconvessa a distanza focale assai corta molto propria pel microscopio. Il prof. Della Torre di Napoli fabbricava le lenti pei microscopii semplici con questo processo, il quale è stato richiamato in pratica recentemente per la grande difficoltà di lavorare le piccole lenti di brevissima di-

stanza focale (1). Una goccia d'acqua, che riempie il foro fatto in una lamina metallica e termina in superficie convesse, può essere utile in alcuni casi come lente microscopica per esaminare dei piccoli oggetti.

Dall'angolo ottico noi giudichiamo della grandezza degli oggetti (§. 907), e le lenti convesse non fanno altro che aumentare quell'angolo, per cui gli oggetti prendono una grandezza apparente maggiore della reale. È bensì vero che, avvicinando di molto l'oggetto all'occhio, i raggi lucidi riescono più divergenti e formano un angolo ottico maggiore, per cui dovrebbero comparire di maggiore grandezza. Ma l'oggetto così vicino all'occhio, quantunque venga ingrandito, comparisce confuso (§. 894). Il microscopio ha il vantaggio di far prendere ai raggi lucidi dello stesso oggetto la divergenza, come se esso fosse posto vicino all'occhio, e di portarne l'imagine alla distanza voluta per la visione distinta. Tuttavolta si può anche ad occhio nudo vedere ingranditi i piccoli oggetti portati vicini all'occhio, lasciando entrare per ogni punto dei medesimi soltanto un piccolissimo fascio di luce, il quale rifratto dagli umori dell'occhio si riunisce sulla retina ancora in un sol punto. A tal fine si fa un piccolissimo foro in una lamina di metallo o di altro corpo opaco, eguale a quello che si farebbe con uno spilletto. L'oggetto posto dirimpetto al foro si vede ingrandito coll'occhio applicato alla parte opposta del foro medesimo. A dir vero si acquista con questo bensì in grandezza, ma si perde molto in chiarezza escludendosi la maggior parte dei raggi lucidi, che partono dal medesimo punto. Ed è per ciò che in questo caso l'oggetto deve essere ben illuminato. L'oggetto *mn* molto vicino (fig. 170) sarebbe veduto dall'occhio, applicato al centro *o* della lente, sotto l'angolo *mon* e l'imagine MN sotto il medesimo angolo. L'ufficio della lente dunque anche in questo caso è di portare coll'imagine l'oggetto alla distanza della visione distinta e di vederlo come ad occhio libero così avvicinato.

Si sono formate delle lenti microscopiche con mezzi più rifrangenti dei cristalli comuni. Il diamante è dotato di gran potere rifrattivo, e con esso si sono appunto costrutte delle piccole lenti microscopiche. Pritchard costrusse una lente somigliante, che aveva circa un millimetro di distanza focale, era dotata di minor potere dispersivo e l'ingrandimento stava a quello del vetro come 8 a 3 (2). Se ne

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. II,, pag. 92.

(2) *Journal of sciences, litt. and arts*, fascicolo di luglio 1817, pag. 15.

sono costrutte eziandio di zaffiro, di rubino, di granato, le quali materie hanno tutte un potere rifrattivo maggiore del vetro.

937. Serve eziandio come mezzo microscopico un emisfero, che produce lo stesso effetto d'una sfera compiuta. Sia ABC la mezza sfera di vetro (fig. 171) ed *r* il punto lucido: i raggi *re*, *rf*, *rg* subiscono entrando nella sfera una prima rifrazione dalla superficie AB al pari d'una lente convessa, e sulla base AC dell'emisfero sono riflessi in *e*, *f*, *g*, come sopra uno specchio, ed escono nell'aria per la superficie BC diretti verso *m*, *n*, *p* provando una seconda rifrazione. Essi sono deviati egualmente come se progredissero nella sfera e passassero nell'aria dalla parte opposta ADC. Se il punto lucido *r* è posto nel fuoco della sfera i raggi *em*, *fn*, *gp*, dopo essere rifratti, ne uscirebbero paralleli, nello stesso modo che, transitando per tutta la sfera, ritornassero nell'aria per la superficie opposta ADC. Talchè, se l'oggetto è posto un poco più vicino all'emisfero del fuoco *r*, l'occhio collocato verso la parte per dove emergono i raggi lucidi vedrà l'imagine ingrandita dalla parte opposta egualmente come se l'osservasse attraverso all'intiera sfera. Questo modo d'ingrandimento ottenuto con un solo emisfero può riuscire utile alle arti.

Si è fatto un microscopio semplice con due lenti riunite in una sola. Questa disposizione ha il vantaggio che, per lo stesso ingrandimento, non si richieggono lenti molto convesse, le quali sono di più difficile costruzione. Per comprendere questa disposizione microscopica, sieno *a* *b* due lenti poste l'una vicino all'altra ed *r* l'oggetto (fig. 172), che considereremo rispettivamente a ciascuna lente. Se la lente binata è posta a tale distanza dall'oggetto *r* che i raggi lucidi di questo producano in virtù della sola lente *a* l'imagine virtuale *s*, passando anche per la lente *b* subiranno una maggiore rifrazione e si genererà l'imagine virtuale *v* di maggior grandezza ed alla dovuta distanza per la visione distinta. A questo microscopio si è unito un prisma rettangolo *efg*, nel quale entrano perpendicolarmente i raggi lucidi per uno dei lati minori *fg* e cadono sotto un angolo non minore dell'angolo limite sul lato *eg*, da cui sono totalmente riflessi verso *cd* (§. 773). L'occhio posto in *d* vede l'imagine virtuale sul piano sottoposto. Questo microscopio semplice differisce da quello composto di due lenti, di cui parleremo, perchè le lenti sono poste in contatto e non danno luogo fra esse alla formazione di qualunque imagine. Il prisma isoscele *efg* riesce utile ai disegnatori onde ottenere proiettata l'imagine ingrandita dell'oggetto sopra un foglio di carta orizzontale e così essere in posi-

zione facile per delinearla. Èsso si applica per tale scopo ad altri microscopi.

Nello stesso modo delle lenti gli specchi concavi si prestano alla costruzione del microscopio semplice, avendo questi, in quanto agli effetti, le stesse proprietà di quelle. Uno specchio concavo a corta distanza focale è dunque un microscopio semplice (§. 917). Sin dal trascorso secolo il distinto ottico italiano Lorenzo Selva aveva disposto uno specchio concavo per farlo servire comodamente di microscopio, che gli procurò l'elogio dell'Academia francese (1).

938. Il *microscopio composto* è fatto almeno di due lenti congegnate in un tubo, l'una delle quali a cortissima distanza focale rivolta verso l'oggetto e detta perciò *lente obbiettiva* o semplicemente *obbiettivo*; all'altra si applica l'occhio ed è chiamata *lente oculare* o semplicemente *oculare*. Il principio, da cui dipende il microscopio composto, sta in questo: l'oggetto, posto avanti alla lente alla distanza un poco più grande del fuoco, forma l'imagine reale dal lato dell'oculare (§. 921). Questa seconda lente è collocata in modo che quell'imagine cada tra essa ed il suo fuoco. L'occhio mira dunque l'imagine reale, che sta avanti l'oculare, come col microscopio semplice osservava l'oggetto medesimo. Sia infatti AB la lente (fig. 173) i cui fuochi sono F, G, ed *mn* un piccolo oggetto posto oltre il fuoco F. Secondo i principii spiegati (§. 921), si forma l'imagine reale MN ingrandita e capovolta che cade fra il fuoco *f* e la lente oculare *ab*, per cui l'occhio applicato ad essa vede l'imagine virtuale M'N' ancor più grande della precedente, disposta com'essa e quindi capovolta relativamente all'oggetto.

Le due lenti, l'obbiettiva e l'oculare, sono disposte in un tubo sostenuto da una colonnetta e fornito del portoggetti. Vi ha unito convenientemente la lente e lo specchio per illuminare l'oggetto tanto dalla parte superiore che dall'inferiore, come è rappresentato nella fig. 174. La colonnetta A appoggia sopra un basamento, e ad essa è raccomandata la verga B che porta il tubo TT' del microscopio, dove sono disposte le lenti, l'obbiettiva verso l'estremità inferiore T' e l'oculare verso quella superiore T. Il portoggetti è rappresentato in *p*, lo specchio concavo per illuminare l'oggetto in *s*, mentre la lente per concentrare sopra di esso la luce vedesi in *l*. Tanto il tubo delle lenti TT' quanto il portoggetti *p* si possono innalzare ed abbassare girando delle viti come la *v*.

(1) Si vegga il dialogo quinto dell'opera di lui su citata: *Dialoghi ottici* ecc. Venezia 1787, come pure alla pag. 178-179 della medesima.

I microscopi composti sono forniti d'ordinario di parecchie lenti obbiettive incassate ciascuna in apposita viera, colla quale si congiungono a vite verso la parte inferiore T' del tubo. Esse sono di differente distanza focale secondo l'ingrandimento che si desidera e secondo quindi l'esilità dell'oggetto, che si sottopone all'osservazione.

939. Nel microscopio diottrico descritto i raggi di curvatura delle due lenti devono avere un determinato rapporto, affine di dare all'imagine la conveniente chiarezza rendendo minima l'aberrazione di sfericità. Nei buoni microscopi non solo l'oculare, ma ben anche l'obbiettivo è acromatico, il quale per la sua picciolezza esige nel lavoro un artefice di abilità non comune. Per correggere le aberrazioni di sfericità e di rifrangibilità si sono interposti, all'oculare ed all'obbiettivo, altri vetri che chiamansi *lenti collettive* od *intermedie*, e si danno perciò microscopi diottrici a tre ed anche a quattro lenti. Le due lenti principali e quelle intermedie devono essere ben centrate e di apertura corrispondente alla loro distanza focale. Gli assi delle lenti inoltre è d'uopo che siano posti sulla stessa retta corrispondente a quello del tubo. Nell'interno di questo tubo sono altresì collocati alcuni diaframmi anulari, che intercettano i raggi troppo obliqui all'asse, i quali produrrebbero confusione nelle imagini. La mobilità del portoggetti serve a collocare i corpi da essere osservati non solo nella posizione per rendere virtuale l'ultima imagine, ma per portare quest'imagine alla distanza della visione distinta come si è mostrato (§. 934).

Dalle cose discorse si comprende che la lunghezza del tubo dipende dalle distanze focali proprie all'obbiettivo ed all'oculare. La distanza $f$, cui si forma l'imagine per mezzo d'una lente convessa, si ha dall'equazione dimostrata (§. 797); aggiungendo ad $f$ la porzione della distanza focale dell'oculare necessaria alla visione distinta, si avrà la lunghezza del tubo del microscopio. Poniamo che l'obbiettivo abbia 5 millimetri di distanza focale e l'oculare 20, mentre l'oggetto è collocato a millimetri 0,1 al di là del fuoco: si formerà di dietro alla lente un'imagine reale alla distanza determinata dall'equazione $f=\frac{dp}{d-p}$, dove è $p=5$ e $d=5,1$; si avrà quindi $f=255$. Quest'imagine reale deve cadere tra l'oculare e il suo fuoco in modo di ottenerne una virtuale alla distanza della visione distinta di millimetri 220. Ora la posizione dell'imagine reale rispetto all'oculare si trova coll'equazione (§. 934) $d=\frac{pf}{f+p}$, dove $p=20$ ed $f=220$, per cui risulta $d=\frac{20\times220}{220+20}=18,33$.

La lunghezza richiesta del tubo sarà dunque di millimetri 255+18,33 eguale a 273,33. Il tubo dell'oculare però dovrà aver un movimento per essere portato ad una distanza minore e maggiore per adattare lo strumento alla visione del miope e del presbita.

940. Il microscopio composto fu molto migliorato da Ramsden, da Campani, da Adams nel trascorso secolo, i cui strumenti si conservano ancora presso alcuni gabinetti di fisica. Nei moderni tempi è stato portato ad una grande perfezione dall'Amici, il quale ne ha fornito non solo parecchi gabinetti d'Italia e diversi indagatori della natura, ma eziandio i gabinetti delle più grandi capitali e delle più cospicue università d'Europa.

Nei microscopi l'oggetto deve esser collocato orizzontalmente, affinchè la gravità non gli faccia cambiare ad ogni istante posizione. Amici, conservando al portoggetti la disposizione necessaria a tale intento, ha dato al tubo del suo microscopio la direzione orizzontale TT' come più comoda all'osservatore (fig. 175). I raggi lucidi del corpo microscopico, posto sul portoggetti P ed illuminato dallo specchio concavo S, s'innalzano verticalmente, e dopo essere rifratti dall'obbiettivo *g* sono riflessi orizzontali, lungo il tubo, dall'ipotenusa *ab* del prisma isoscele, formando un'imagine reale dell'oggetto avanti all'oculare assicurato all'estremità T del tubo. I movimenti verticale ed orizzontale in due direzioni normali del portoggetti si eseguiscono mediante finissime viti allo scopo di collocare il corpo nel giusto punto per l'osservazione, e di fargli percorrere tutto il campo dello strumento per esaminarlo in ogni sua parte. Colla lente convessa L si concentrano i raggi luminosi sull'oggetto per rischiararlo maggiormente ed ottenere nelle grandi amplificazioni ancora una chiarezza sensibile all'occhio.

Lo strumento è fornito d'ordinario di parecchi obbiettivi, che si applicano separatamente ed anche combinati due a due ed anche tre a tre al tubo secondo gl'ingrandimenti che si vogliono ottenere. Ciascuna di esse è dotata di alcuni millimetri di distanza focale, ed è acromatica al pari degli oculari, coi quali si combinano per ottenere i diversi ingrandimenti, potendosi questi variare salendo successivamente a quelli, cui non giungono gli altri microscopi composti. Le combinazioni per gli ultimi ingrandimenti non si adoperano che per oggetti estremamente esili, che sfuggono ai migliori microscopi comuni. I corpi microscopici si collocano fra le due lamine di vetro P, *p* del portoggetti, le quali si mantengono alla distanza necessaria senza che la superiore venga a gravitare sull'oggetto. Si congiunge

all'obbiettivo un piccolo specchio concavo, il quale riverbera sull'oggetto tutta la luce che riceve dalle lamine P, $p$ e dal gran riflettore S. Il microscopio d'Amici è fornito altresì di viti micrometriche per valutare le dimensioni dell'oggetto e di altri ordigni. Per meglio intendere il modo di combinare gli obbiettivi e in generale l'uso del grande microscopio dell'ottico italiano, analizziamo nelle sue parti quello del gabinetto del R. Liceo a S. Alessandro di Milano, che poco differisce dall'altro che trovasi nel gabinetto della R. Università di Torino. Il microscopio ha 4 oculari a doppia lente e 9 obbiettivi acromatici montati in altrettante viere d'ottone. Tre di questi ultimi sono segnati colle cifre 1, 2, 3, altri tre sono distinti con punti •, • •, • • •, ed i rimanenti tre con lineette |, ||, |||. Dalla diversa combinazione degli obbiettivi si producono con uno degli oculari diversi ingrandimenti, di cui parleremo più avanti confrontandoli con quelli di altri microscopi. Il modo di disporli sotto il tubo orizzontale, che porta il prisma, viene indicato in A, B, C, D, E, F (fig. 175), dove si vede la loro combinazione coll'aggiunta, quando sono più d'uno, del tubetto segnato $o$. La distanza dell'oggetto dall'obbiettivo inferiore è prossimamente per A di 69 millimetri, per B di 30, per C di 12, per D di 6, per E di 2 e per F quasi al contatto. In quest'ultimo caso una sola sottilissima foglia di mica può essere interposta, la quale è necessaria per coprire gli oggetti fluidi, onde impedire l'appannamento dell'obbiettivo.

Gli obbiettivi E sono costrutti in modo che il loro perfetto acromatismo si ottiene soltanto quando i raggi lucidi attraversano prima una lamina piana di vetro della grossezza di un millimetro. Senza di questa lastra la visione riuscirebbe indistinta. Colle prime quattro combinazioni non è necessario di coprire gli oggetti colla lastra.

Si modera la luce con un diaframma mobile, consistente in una rotella di metallo con tre fori circolari di diverso diametro, che è applicato inferiormente al portoggetti, e si fa girare conducendo il foro più grande al disotto dell'oggetto per le combinazioni di maggiore, e il più piccolo per quelle di minore ingrandimento. Vi ha altresì sotto il diaframma mobile una lente convessa, da mettersi sotto al maggior foro quando si deve concentrare maggior luce sugli oggetti. I piccoli corpi opachi si osservano colla combinazione D aggiungendo sotto l'obbiettivo segnato •, • il piccolo specchio forato d'argento. Lo strumento ha unito altresì due camere lucide per disegnare gli oggetti ingranditi, di cui parleremo più avanti.

La vite laterale ha per valore d'ogni divisione del suo quadrante la

frazione 0,0031 di millimetro. Facendo passare quindi per mezzo di essa l'oggetto da una parte all'altra del filo di ragno verticale posto nell'oculare I e II, il numero delle divisioni percorse in questo passaggio moltiplicato per 0,0031 esprimerà in decimali di millimetro la grandezza assoluta dell'oggetto. Conviene però in quest'operazione evitare il *passo perduto* della vite, se l'uso lo rende sensibile. L'altra vite posteriore serve allo stesso fine ed ha per valore di una parte del quadrante la frazione 0,00246 di millimetro. Per diffendere l'occhio dall'impressione della luce esterna, si applica all'oculare un largo disco di cartone nero.

Questo strumento, oltre una serie più completa d'obbiettivi acromatici della maggiore forza, possiede altresì un secondo tubo verticale da sostituirsi a quello orizzontale, che rende al microscopio una disposizione somigliante a quelli composti comuni.

941. Lo stesso Amici ha di molto migliorato il *microscopio catadiottrico* (1), formandolo di due specchi metallici *a*, *b* collocati in tubo orizzontale (fig. 176). Il più grande *a* è concavo e di figura elittica, di diametro eguale a quello del tubo e disposto in fondo del medesimo con coincidenza negli assi. L'altro specchio *b* è piano, molto piccolo, e il cui mezzo corrisponde all'asse del tubo, col quale è inclinato sotto l'angolo di 45°. Esso è nel resto fornito in *p* del portoggetti, in *s* dello specchio concavo ed in *l* della lente per illuminare i corpi che si osservano.

L'oggetto collocato in *p* manda i raggi lucidi per l'apertura corrispondente sullo specchio piano *b*, che li riflette verso quello elittico *a*, pel quale si forma nella parte opposta del tubo l'imagine che si osserva colla lente oculare posta nel tubo *o*.

Il pregio principale del microscopio catadiottrico è quello di evitare l'aberrazione di rifrangibilità, come pure quella di sfericità quando lo specchio grande metallico abbia l'esatta forma elittica. Gualtieri pervenne ad un gran perfezionamento nella fabbricazione degli specchi elittici di metallo, ed ottenne sin dal 1812 il premio dall'Istituto nazionale italiano (2), e commissioni ed incoraggiamenti dal governo del regno d'Italia.

942. Nel microscopio composto non bisogna confondere la gran-

(1) Si vegga lo scritto di lui: *De' microscopi catadiottrici* nel t. XVIII delle *Memorie della Società italiana delle scienze*. Modena 1819.

(2) *Collezione degli Atti delle solenni distribuzioni dei premi d'industria*, t. I, pag. 147 e 157.

dezza dell'imagine coll'ampliazione prodotta all'occhio dallo strumento. Questa ampliazione, detta anche ingrandimento, è valutata dall'angolo ottico, e l'imagine potrebbe trovarsi a distanza tale che, per quanto fosse grande, comparisse sotto un angolo eguale a quello formato dall'oggetto veduto ad occhio nudo nella posizione cui si trova (§. 936). Nel microscopio composto perciò si è convenuto di *esprimere l'ingrandimento col rapporto fra l'angolo ottico sotto cui si presenta l'imagine, e quello sotto cui ad occhio libero si scorge l'oggetto alla distanza della visione distinta.* L'angolo M'ON', sotto cui comparisce l'imagine prodotta dalla lente obbiettiva AB (fig. 173) veduta attraverso l'oculare $ab$, si approssima tanto più ad eguagliar l'angolo McN quanto più l'occhio si avvicina al centro ottico $c$ dell'oculare. Siccome nelle osservazioni microscopiche l'occhio è posto quasi a contatto dell'oculare $ab$; così si può prendere con molta approssimazione l'angolo M'ON'=McN. Chiamando pertanto $a$ quest'angolo, si ha dal triangolo rettangolo MR$c$ $tang.\ \frac{a}{2}=\frac{MR}{cR}$. Siccome poi nei piccoli angoli le tangenti si possono ritenere eguali agli archi corrispondenti; così è eziandio $\frac{a}{2}=\frac{MR}{cR}$, e per conseguenza $a=\frac{MN}{cR}$. Ora si dica $d'$ la distanza cR, cui si trova l'imagine MN dell'oculare, mentre l'imagine reale MN prodotta dalla lente AB è espressa in grandezza da $\frac{f}{d}\cdot g$ (§. 921), dove $f$ ne rappresenta la distanza CR dalla stessa lente, $d$ la distanza C$r$ dell'oggetto $mn$; e $g$ la grandezza dell'oggetto medesimo; perciò sostituendo si avrà l'angolo ottico $a=\frac{f.}{d.d'}\cdot g$. Ma l'oggetto $mn$ guardato ad occhio libero alla distanza $\delta$ della visione distinta comparisce sotto l'angolo $b$, che secondo le precedenti considerazioni, è espresso da $b=\frac{g}{\delta}$. Dunque il rapporto $x$ dei due angoli ottici sarà $x=\frac{a}{b}=\frac{\delta f}{dd'}$, che esprime l'ingrandimento del microscopio a due lenti. Se si avessero tre o più lenti si dimostra con un processo somigliante che l'ingrandimento $x$ è eguale $\frac{\delta ff'f''}{dd'd''d'''}$, donde la regola generale: *l'ingrandimento del microscopio composto si valuta dal prodotto delle distanze di riunione, dove i raggi lucidi transitanti per ciascuna lente formano le imagini, diviso pel pro-*

*dotto delle distanze delle imagini medesime dalla lente consecutiva, e il quoziente moltiplicato pel rapporto fra la distanza* $\delta$ *della visione distinta e quella* d *dell'oggetto dalla prima lente.* Non è però sempre facile e spesso anche impossibile di misurare con esattezza quelle distanze, ed è per ciò che gli ottici hanno ricorso a metodi pratici per determinare l'ingrandimento di qualunque microscopio composto.

943. Il più facile di questi metodi consiste nell'osservare con un occhio mediante il microscopio un piccolo oggetto di note dimensioni e di dirigere l'altro verso le punte di un compasso tenuto alla distanza della visione distinta. Si aprono poscia le punte in modo che il loro intervallo apparisca eguale al diametro dell'imagine dell'oggetto veduto col microscopio. Provando sopra una scala quante volte in questo intervallo si contiene il vero diametro dell'oggetto, il quoziente darà l'ingrandimento richiesto. Per facilitare questa valutazione alcuni osservatori di oggetti microscopici sogliono avvolgere ad un piccolo cilindro, per es. un ago, un sottilissimo filo d'argento coi giri esattamente a contatto fra loro assicurandosene col mezzo di una lente. Si determina poi il diametro del filo dividendo un dato intervallo pel numero dei giri che esso comprende. La grossezza del filo così determinata si mette poscia a confronto colla grandezza dell'imagine presa mediante il compasso, con che si ha l'ingrandimento richiesto.

Al medesimo scopo Amici ha unito al suo microscopio (§. 940) una camera lucida, che quanto prima impareremo a conoscere, la quale si aggiusta in modo all'oculare che, mentre si osserva direttamente ad una stabilita distanza un regolo esattamente diviso, si vede nello stesso tempo per riflessione l'imagine dell'oggetto sottoposto al microscopio. Ora se quest'oggetto è pure diviso in parti eguali, si vedrà a colpo d'occhio l'intervallo occupato sul regolo da una delle divisioni dell'oggetto veduto col microscopio. Talchè se $\frac{1}{10}$ di millimetro occupi sul regolo 10 millimetri, l'ingrandimento lineare sarebbe di 100, se ne occupi 15 di 150 ecc.

In generale tutti questi mezzi pratici si dicono *micrometrici*, e l'oggetto esattamente diviso, che si sottopone all'istromento, chiamasi *micrometro*, il quale consiste d'ordinario in una lamina di vetro, sulla quale sono scolpite col diamante le divisioni delle più piccole frazioni possibili di millimetro. Si stabilisce il potere amplificatore del microscopio collocando il micrometro di vetro nel luogo dell'oggetto, ed osservando il numero delle divisioni che si osservano attraverso alle

lenti nel campo dello strumento. Il numero delle volte, che l'intervallo del micrometro sta nel diametro dell'apertura dell'ultimo diaframma del microscopio, somministra l'ingrandimento lineare prodotto. Posto che l'intervallo del micrometro sia 5 mentre il diametro dell'ultimo diaframma è 200, l'ingrandimento lineare prodotto dal microscopio risulterà di 40, e per conseguenza quello superficiale di 1600. Si prendono anche due micrometri eguali di tale specie ponendone uno sul portoggetti e l'altro sul diaframma al disotto dell'oculare. L'ultimo micrometro è ingrandito soltanto dall'oculare, mentre l'altro lo è da tutto il sistema del microscopio; basta quindi di osservare quante divisioni d'un campo cadono nell'altro campo per ottenere l'ingrandimento del sistema di lenti meno l'oculare. L'ingrandimento di questo, quando ne sia data la distanza focale, si trova facilmente, da cui si deduce quello di tutto il microscopio. Coi due micrometri si potrà anche più facilmente mettere in pratica il primo dei metodi indicati.

Conoscendo l'amplificazione di un microscopio, se si misura la grandezza dell'imagine dell'oggetto con un micrometro a lastra di vetro oppure con una vite micrometrica, si potrà dedurre facilmente la grandezza assoluta dell'oggetto. Il microscopio d'Amici ha unito appunto un micrometro a vite per ciascuna divisione del quale la vite stessa s'avanza o retrocede d'una frazione di millimetro segnata sopra una scala (§. 940) per es. di 0,002. Supponiamo che siano necessari 10 divisioni per far passare sotto il filo micrometrico dell'oculare l'intera imagine dell'oggetto; in tal caso si deduce che il diametro assoluto di quest'oggetto è eguale a 10 volte 0,002, ossia a 2 centesimi di millimetro. Leuwenoéck determinava la grandezza assoluta degli oggetti mettendoli a confronto con granelli d'arena, di cui cento disposti in linea retta occupavano la lunghezza di 27 millimetri (un pollice).

Si osservi infine di non confondere l'ingrandimento, prodotto da un microscopio come da qualunque altro apparato ottico, col senso di aumento o di diminuzione che l'animo percepisce nell'osservare un oggetto mediante l'interposizione di lenti e di specchi, il quale senso è strettamente connesso collo stato particolare dell'occhio d'ogni individuo, coll'avvedutezza nell'osservare, e coi falsi giudizi che seguono le nostre ordinarie abitudini.

Crediamo merito dell' opera di riportare gli ingrandimenti del grande microscopio d'Amici su descritto (§. 940) in confronto di altri strumenti somiglianti che si trovano presso i principali gabinetti

fisici d'Italia, aggiungendovi altresì gl'ingrandimenti del microscopio catadiottrico dello stesso autore (§. 941). Tutti gl' ingrandimenti sono lineari, e la seconda e terza colonna indicano ciascun oculare adoperato coi diversi obbiettivi, essendo quelli d'Amici segnati colle lettere secondo le dichiarazioni su espresse (§. 940).

| MICROSCOPIO | Oculare | Obbiettivo | Ingrandimento |
|---|---|---|---|
| DIOTTRICO D'AMICI | I | A | 25 |
| | | B | 46 |
| | | C | 94 |
| | | D | 210 |
| | | E | 312 |
| | | F | 730 |
| | II | B | 79 |
| | | C | 160 |
| | | D | 356 |
| | | E | 530 |
| | | F | 1240 |
| | III | C | 248 |
| | | D | 558 |
| | | E | 831 |
| | | F | 1943 |
| | IV | D | 1116 |
| | | E | 1663 |
| | | F | 3900 |

| MICROSCOPIO | Oculare | Obbiettivo | Ingrandimento |
|---|---|---|---|
| DIOTTRICO DI PLÖSSL | I | 1 | 15 |
| | | 2 | 30 |
| | | 3 | 40 |
| | | 4 | 60 |
| | | 5 | 90 |
| | | 6 | 150 |
| | II | 1 | 30 |
| | | 2 | 37 |
| | | 3 | 60 |
| | | 4 | 90 |
| | | 5 | 150 |
| | | 6 | 240 |
| | I e II | 6 | 300 |
| DIOTTRICO DI RAMSDEN | *Un solo oculare* | 1 | 20 |
| | | 2 | 30 |
| | | 3 | 39 |
| | | 4 | 45 |
| | | 5 | 60 |
| | | 6 | 240 |

| MICROSCOPIO | Oculare | Obbiettivo | Ingrandimento |
|---|---|---|---|
| DIOTTRICO DI ADAMS | *Un solo oculare* | 1 | 18 |
| | | 2 | 22 |
| | | 3 | 27 |
| | | 4 | 37 |
| | | 5 | 60 |
| | | 6 | 90 |
| CATADIOTTRICO D'AMICI | I | *Un solo obbiettivo* | 30 |
| | II | | 45 |
| | III | | 75 |
| | IV | | 240 |
| | V | | 330 |
| | VI | | 540 |

Il microscopio ha servito a riconoscere la struttura e la natura di molti corpi importanti per le scienze ed utili alle arti ed agli usi sociali. Un gran numero di esseri viventi si sono scoperti, dei quali si sospettava neppure l'esistenza. Le parti costitutive delle piante, dei fiori, dei frutti, delle pietre e dei metalli sono state in particolar

modo rischiarate e meglio definite. La cupidigia del guadagno altera molte sostanze, di cui si riconosce l'impurità coll'aiuto del semplice microscopio. Le farine, i tessuti, parecchi sali ed altre materie consimili si trovano spesso adulterate nel commercio, e il microscopio serve a scoprirne le frodi. Il medico potrà trarne profitto nell'esame del latte, del sangue, delle orine, della saliva per meglio essere guidato nella sua professione e nei suoi studi sui mali che travagliano l'umanità.

944. Per vedere gli oggetti, che sfuggono alla vista in causa della loro lontananza, servono altri strumenti fondati su gli stessi principii ottici, da cui dipendono i microscopii. Se l'apparato è disposto all'uso di vedere degli oggetti sul nostro globo, esso chiamasi comunemente *cannocchiale terrestre* o semplicemente *cannocchiale*; se serve per contemplare i corpi che spaziano nel firmamento, allora prende il nome di *cannocchiale astronomico* o di *telescopio*. Trascorsero ben tre secoli ed un quarto dopo l'invenzione degli occhiali, fatta dall'italiano Armati, sino all'epoca di quella dei cannocchiali fatta da un altro italiano, da Galilei, ai quali seguirono poscia i microscopii, di cui si è finora discorso. Nei cannocchiali d'ogni specie si distinguono pure l'oculare e l'obbiettivo: il primo è sempre una lente od un sistema di lenti, il secondo è d'ordinario una lente e talvolta uno specchio. Noi c'intratterremo di quanto più importa alla cognizione ed al maneggio di questa specie d'apparati ottici per gli usi della nostra scienza e della società.

Il *cannocchiale di Galilei* è il primo apparato di questo genere che comparve al principio dell'anno 1610 per opera del celebre Italiano, di cui porta il nome. Esso si compone di due lenti assestate in un tubo; la prima A biconvessa a lunga distanza focale, che serve di obbiettivo; la seconda B biconcava a corta distanza focale che fa le funzioni d'oculare (fig. 177). L'obbiettivo è disposto in modo relativamente all'oculare che il fuoco posteriore della prima coincide nello stesso punto F del fuoco posteriore della seconda lente. Allo scopo di comprendere l'effetto e di valutare l'ingrandimento di questo cannocchiale, siano $xm$, $yn$ i raggi rispettivi dei due punti estremi dell'oggetto, i quali passino pel centro ottico $o$ dell'obbiettivo A: essi ne emergono irrifratti, e rappresentano gli assi secondari di ciascun punto estremo dell'oggetto (§. 801). Per la grande lontananza di questo, i raggi, che partono dallo stesso punto lucido, riescono pochissimo divergenti, e quelli di ciascun estremo dell'oggetto si riunirebbero rispettivamente nei punti $m$, $n$ nel caso che non vi fosse l'oculare B,

formando ivi l'imagine reale dei medesimi non molto al di qua del fuoco $f$. Incontrando la lente biconcava B, non progrediscono nelle direzioni $pm$, $qn$, ma sono rifratti verso $pr$, $qs$ giungendo all'occhio posto di dietro all'oculare B in modo che appariscono le due imagini virtuali M, N invece di quelle reali $m$, $n$. Quanto si è detto degli estremi dell'oggetto vale per tutti i punti intermedii: talchè l'imagine del medesimo sarebbe virtuale.

Atteso il piccolo intervallo che separa le due lenti e la grande lontananza dell'oggetto, possiamo supporre l'occhio in $o$ da dove si vedrebbe, senza l'aiuto dello strumento, sotto l'angolo $xoy=mon$; mentre per mezzo del cannocchiale lo vede sotto l'angolo $McN=mcn$. Il rapporto dunque dei due angoli $mon$, $mcn$, o delle loro metà $mob$, $mcb$ esprimerà l'ingrandimento prodotto dal cannocchiale di Galilei. Dal triangolo rettangolo $mob$ si ha $mb : bo :: sen.\ mob : cos.\ mob$, da cui si ricava $tang.\ mob=\frac{mb}{bo}$. Nello stesso modo dal triangolo rettangolo $mcb$ si deduce $tang.\ mcb=\frac{mb}{bc}$. Prendendo, per le ragioni più volte ripetute, invece delle tangenti gli angoli rispettivi ed istituendo colle due equazioni una porporzione, si ha: $mob : mcb :: \frac{mb}{bo} : \frac{mb}{bc}$, ossia i due angoli ottici $mob$, $mcb$, che misurano le grandezze dell'oggetto veduto ad occhio libero e col cannocchiale, sarebbero come $\frac{1}{bo} : \frac{1}{bc}$, e per conseguenza il rapporto richiesto dei due angoli ottici $mob$, $mcb$ od $\frac{mcb}{mob}$ risulterebbe espresso da $\frac{bo}{bc}$. Ora $bo$ eguaglia con molta approssimazione la distanza focale dell'obbiettivo, per potersi considerare come paralleli i raggi che partono dallo stesso punto in causa della grande lontananza dell'oggetto (§. 740), e $bc$ la distanza focale dell'oculare: per conseguenza *l'ingrandimento nel cannocchiale di Galilei eguaglia il quoziente che si ottiene dividendo la distanza focale dell'obbiettivo per quella dell'oculare.*

Nella costruzione del cannocchiale di Galilei, quantunque in generale se ne aumenti il potere amplificativo prendendo degli obbiettivi di lunga distanza focale e degli oculari di corta; tuttavolta questo deve solo farsi entro certi limiti. Imperocchè a misura che l'oggetto apparisce più grande, diventa necessariamente meno chiaro. Inoltre, rendendosi sempre più divergenti i coni luminosi in virtù degli ocu-

lari dotati di distanza focale vieppiù corta; entrano in minor quantità raggi lucidi nel pertugio della pupilla, ciò che contribuisce in altro modo a diminuire la chiarezza dell'imagine. Questa duplice causa di diminuzione nella chiarezza giunge ben presto al punto che rende confuse le imagini e pregiudica alla visione (§. 891). D'altronde a misura che si aumenta l'ingrandimento prodotto dal cannocchiale si restringe il campo dello strumento in causa della grande divergenza dei raggi lucidi, e perciò non si abbracciano in un solo colpo d'occhio che pochi oggetti. È appunto per queste ragioni che il cannocchiale di Galilei è usato soltanto in alcuni casi per vedere degli oggetti non molto lontani, pei quali non si richiede un gran potere amplificatore nello strumento. I cannocchiali doppi o i binoculi da teatro sono appunto due strumenti di Galilei accoppiati, i quali sopra gli altri cannocchiali, come vedremo, hanno il vantaggio di non richiedere tubi molto lunghi e d'esserne quindi comodissimo l'uso, e di far vedere altresì gli oggetti diritti.

945. Lo stesso principio che serve alla costruzione del microscopio vale eziandio pel cannocchiale a due lenti convesse o *telescopio di Keplero*. Il fuoco posteriore dell'obbiettivo A coincide coll'anteriore $f$ dell'oculare B (fig. 178). I raggi lucidi dell'oggetto situato molto lontano cadono sull'obbiettivo con pochissima divergenza, per cui, dopo essere rifratti, ne formano l'imagine rovesciata e reale $mn$ avanti all'oculare un poco al di là del fuoco $f$. L'occhio quindi applicato alla lente B vede l'imagine virtuale MN, la quale, essendo diritta per rapporto alla reale $mn$, resta capovolta riguardo all'oggetto. Siano inoltre $xo$, $yo$ i raggi lucidi dei due estremi dell'oggetto, i quali passeranno per l'obbiettivo irrifratti e su di essi come assi secondari si formeranno le imagini reali $m$, $n$ dei due estremi dell'oggetto. Dal punto $n$ il raggio lucido $nq$ parallelo all'asse, rifratto nel fuoco posteriore $e$ dell'oculare, e il raggio $nc$ che passa pel centro ottico, ne emergeranno ambidue divergenti; talchè, prolungati dalla parte opposta, s'incontreranno nel punto M che sarà l'imagine virtuale di quello reale $m$. Lo stesso si dica del punto $n$, pel quale si avrà l'imagine virtuale N.

L'oggetto dunque sarà veduto ad occhio nudo sotto l'angolo $xoy=mon$, e ad occhio armato del telescopio sotto $rcs=mcn$. Per avere l'ingrandimento bisogna determinare il rapporto dei due angoli ottici $mcn$, $mon$. Operando come precedentemente si trova $\frac{mcn}{mon}=\frac{bo}{bc}$. Ora $bo$ eguaglia con moltissima approssimazione la di-

stanza focale dell'obbiettivo, e *bc* quella dell'oculare. Per conseguenza *l'ingrandimento prodotto dal telescopio di Keplero è espresso dal quoziente della distanza focale dell'obbiettivo divisa per quella dell'oculare.*

In questo cannocchiale si richiede un tubo tanto più lungo quanto più deve essere grande il suo potere amplificatore. Ma esso non ha l'inconveniente di diminuire di molto il campo della visione coll'oculare, presentando d'altra parte gli oggetti capovolti, per cui non può servire come strumento terrestre, e perciò si adopera soltanto per osservare i corpi celesti, non importando che gli astri compariscano rovesciati. L'amplificazione è unicamente limitata dalla diminuzione di chiarezza, che prendono le imagini a misura che crescono in grandezza. Nel telescopio di Keplero importa ancor più che in quello di Galilei di costruire l'obbiettivo acromatico, come pure l'oculare. La grande distanza focale dell'obbiettivo fa diventare più sensibile l'aberrazione di sfericità, per cui bisogna limitarne il campo con diaframmi anulari.

946. Il *cannocchiale di Reita* presenta i vantaggi del telescopio di Keplero senza averne gl'inconvenienti. Esso si compone di una lente obbiettiva e tre oculari. Si formano due imagini reali: la prima fra l'obbiettivo e il primo oculare, e la seconda fra gli oculari; talchè quest'ultima, essendo capovolta rispetto alla prima, diventa diritta in riguardo all'oggetto. L'ultima imagine reale fa apparire nell'occhio applicato al terzo oculare l'imagine virtuale. In questo cannocchiale le lenti oculari sono d'ordinario d'eguale distanza focale, ed alcune di esse piano-convesse, dalla cui disposizione si evitano gli errori di sfericità. Si fanno anche cannocchiali terrestri a quattro oculari ed un obbiettivo, il quale in ogni caso deve essere acromatico. Tanto nel cannocchiale di Reita, quanto in quello a quattro oculari si ottiene *l'ingrandimento dividendo la distanza focale dell'obbiettivo per quella del minor oculare.*

947. Tutti i cannocchiali, oltre i diaframmi che intercettano i raggi troppo obliqui all'asse pei quali si renderebbero confuse le imagini, hanno la superficie interna dei tubi tinta di nero, per evitare qualunque riflessione di raggi che cadessero su di essa. Il tubo, dove sono aggiustati l'oculare o il sistema d'oculari, può essere spinto dentro in quello dell'obbiettivo od estratto da esso, e così allontanare più o meno il sistema oculare dall'obbiettivo per adattarlo alle diverse viste ed alle differenti lontananze degli oggetti che si osservano. Se, per es., un cannocchiale è disposto per un occhio sano a vedere distintamente un oggetto; per un presbita si dovrà allungare il tubo onde

i raggi dell'imagine reale si presentino meno obliqui all'oculare, ed all'inverso raccorciare per un miope. Inoltre, essendosi disposto l'oculare per vedere distintamente un oggetto lontano, quando si rivolge ad uno vicino si dovrà allungare il tubo e così far cadere la prima imagine prodotta dall'obbiettivo alla stessa distanza di prima dall'oculare.

Furono anche applicati i micrometri per determinare l'ingrandimento prodotto da un cannocchiale qualunque. A tale uopo serve comodamente il seguente metodo fondato sopra una *legge generale d'ottica* dimostrata dal nostro Lagrangia nelle *Memorie dell'Accademia di Berlino* del 1803. In qualunque cannocchiale e telescopio l'ingrandimento dell'oggetto, in riguardo a quant'esso apparisce ad occhio nudo veduto dal centro dell'obbiettivo, è espresso dal quoziente del diametro dell'obbiettivo diviso per quello del piccolo cerchio illuminato, che comparisce sull'oculare. Per ottenere con precisione questa misura si fa uso dello strumento detto *dinametro*, il quale consiste in un tubo d'ottone fatto di due tronchi di cono riuniti per le loro basi maggiori e in una sottile lamina di cristallo o di altra materia trasparente, su cui sono tracciate delle linee assai sottili e fra loro equidistanti della più piccola frazione possibile di millimetro. La lamina è assestata nel tubo perpendicolarmente all'asse e le divisioni si vedono con lenti convesse applicate al tubo dello strumento. Il cannocchiale o il telescopio, di cui si vuole valutare l'ingrandimento, è munito d'un coperchio con un foro circolare nel mezzo di diametro ben determinato un poco minore di quello dell'obbiettivo, e si rivolge verso il sole o ad un punto illuminato del cielo, disponendo dalla parte opposta o all'oculare il dinametro. Il cono lucido che esce dall'oculare cade sulla lamina trasparente del dinametro, dove si dipinge il cerchietto, di cui si riconosce la giusta misura del diametro osservando l'intervallo delle linee ch'esso comprende sulla lamina micrometrica.

Un metodo pratico per valutare l'ingrandimento prodotto da un cannocchiale si ha osservando collo strumento l'oggetto, mentre coll'altro occhio si guarda questo direttamente. Compariscono due imagini, l'una molto più vicina veduta col cannocchiale, l'altra lontana veduta ad occhio nudo. Si fissa il punto dove cade la prima imagine e se ne misura la distanza dal cannocchiale: osservando quante volte essa è contenuta nella distanza reale cui si trova l'oggetto, il quoziente darà l'ingrandimento richiesto.

948. I *cannocchiali iconantidiptici* presentano al tempo stesso due

imagini del medesimo oggetto, l'una diritta e l'altra capovolta, ed in tal modo adempiono al doppio ufficio dei cannocchiali terrestri ed astronomici. Questa specie di cannocchiali furono perfezionati da Selva dietro i suggerimenti del nostro Boscovich e più recentemente dall'Amici, come si scorge dal t. XIX delle *Memorie della Società italiana delle scienze.*

Il *cannocchiale a doppia imagine di Rochon* è a due lenti, alle quali è interposto un sistema di due prismi di cristallo di rocca. Questo sistema è collocato fra l'obbiettivo e il suo fuoco posteriore, e si può fare scorrere nel tubo avvicinandolo più o meno all'obbiettivo stesso. Quanto più si allontana il sistema bifrangente, le due imagini si avvicinano; talchè si determina col calcolo la relazione che vi ha fra la distanza del prisma dall'obbiettivo per ridurre le due imagini a contatto fra loro, la distanza dall'oggetto e la sua grossezza, e l'angolo ottico cui è veduto coll'istrumento. Si stabilisce quindi mediante l'osservazione una scala sul tubo; per la quale vien tosto dato l'angolo ottico sotto cui è veduto l'oggetto. L'istrumento ha altresì segnata un'altra scala, dalla quale si riconosce il rapporto della distanza dell'oggetto e la sua grossezza; per cui, essendo questa conosciuta, si ottiene l'altra. È per ciò che un tale strumento è noto altresì sotto il nome di *distanziometro.*

949. Avanti l'invenzione delle lenti acromatiche si è veduto a quali inconvenienti erano soggetti i cannocchiali diottrici (§. 815), a cui si trovò il rimedio coll'invenzione dei *cannocchiali catadiottrici,* composti cioè di specchi e di lenti. Il primo di questa specie di apparati ottici è dovuta all'italiano Nicolò Zucchi, anche per confessione degli stranieri (1), l'idea del quale fu migliorata alcuni anni dopo da Gregory e in seguito da altri. Gregory presentò il suo telescopio catadiottrico nell'anno 1663. Il vantaggio principale di questa specie di cannocchiali si è di poter costruire degli specchi obbiettivi di grande diametro e di presentare distinta la visione degli oggetti. Noi daremo un'idea dei principali di questi strumenti catadiottrici.

Il *cannocchiale di Gregory* consiste in un grande specchio concavo *ab* di metallo (fig. 179) munito d'un foro nel suo centro. A questo specchio egli ha dato la curvatura parabolica per evitare ogni aberrazione. Di contro allo specchio *ab* è collocato l'altro pic-

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. IX, pag. 209. Si veda altresì *Nic. Zucchi Parmensis Opera philosophica.* Lipsia 1652, t. I, pag. 126; e gli *Elementi d'ottica e d'astronomia* di Settele. Roma, t. I, pag. 120.

colissimo *cd* pure concavo e di metallo, che mediante una lunga verghetta a vite *v* si può allontanare più o meno dal primo specchio. La curvatura di *cd* dovrebbe essere elittica. L'oculare è formato di due lenti convesse *e*, *f*, disposte fra loro ad una distanza eguale alla semisomma delle loro lunghezze focali ed assicurato a vite nel tubo, dove è posto il grande specchio. I raggi lucidi d'un oggetto lontano giungono quasi paralleli sullo specchio *ab*, dal quale sono riflessi con un certo grado di convergenza sullo specchietto *cd*, e formano, dopo una seconda riflessione, l'imagine reale *mn* rovesciata dell'oggetto posta a tale distanza, dalla prima lente oculare *e*, che per essa ha luogo una seconda imagine reale *m'n'* capovolta per rapporto alla prima *mn* e quindi diritta in riguardo all'oggetto. La seconda imagine *m'n'* vien ad essere un poco più vicina alla lente *f* del fuoco di questa, per cui l'occhio O vede un'imagine virtuale molto ingrandita e disposta come l'oggetto.

Cassegrain al piccolo specchio concavo del cannocchiale gregoriano ne ha sostituito uno convesso, il quale riceve pure i raggi lucidi avanti che si formi l'imagine reale dell'oggetto. Lo specchio convesso ne riflette i raggi meno convergenti verso l'oculare, dove l'imagine reale rovesciata viene a formarsi nello stesso luogo della seconda imagine del cannocchiale di Gregory, e l'occhio l'osserva come in questo. A pari circostanze il telescopio di *Cassegrain* ha il vantaggio d'essere più corto di quello di Gregory ed essere meno esposto all'aberrazione di sfericità, la quale ha una grande influenza sulla distinzione delle imagini (§. 928). Esso però non può servire che di telescopio presentando rovesciati gli oggetti.

Newton, invece dello specchietto curvo dei due cannocchiali precedenti, si è servito d'uno piano *cd* (fig. 180), il quale riceve i fasci luminosi sotto l'angolo di 45° e li riflette nell'oculare posto lateralmente al telescopio. In alcuni *cannocchiali di Newton* si è sostituito al piccolo riflettore *cd* un prisma rettangolare somigliante a quello del microscopio d'Amici (§. 940). Le lenti oculari sono collocate per ciò in un tubo laterale congiunto collo strumento. L'inclinazione dello specchietto piano ha il vantaggio d'intercettare minor numero di raggi lucidi lanciati dall'oggetto verso il gran riflettore posto sul fondo dello strumento, e quindi di nuocere meno alla chiarezza ed alla distinzione delle imagini.

Quantunque nel telescopio di Newton sia intercettato un numero un poco minore di raggi lucidi dell'oggetto, tuttavolta quelli centrali, che tanto contribuiscono alla nitidezza delle imagini, sono impediti

di concorrere alla loro formazione. Di questo difetto va esente il *telescopio di Herschel* padre, il quale consiste nel grande specchio riflettore assicurato sul fondo del tubo dello strumento e nelle lenti di cui si compone l'oculare. In questo telescopio l'osservatore dirige lo sguardo per l'oculare verso il grande specchio, avendo rivolto il dorso all'oggetto. Allo scopo poi d'impedire che la testa e il corpo dell'osservatore intercettino una grande quantità di luce, l'imagine si forma al di fuori dell'asse del tubo, e lo specchio è per conseguenza un poco inclinato.

L'ingrandimento di tutti questi telescopi si valuta coi principii esposti per quelli diottrici, ed anche coi metodi pratici descritti per questi ultimi cannocchiali (§. 947).

950. I telescopii catadiottrici hanno qualche vantaggio sopra i diottrici per le dimensioni molto maggiori che si possono dare agli specchi in confronto delle lenti, e quindi per ottenere un maggiore ingrandimento. Inoltre sono più corti e riescono da questo lato più maneggevoli, quantunque il gran peso li renda d'altra parte più resistenti ai diversi movimenti. Gli specchi metallici però richiedono una gran cura per conservarli ed una grande diligenza per pulirli. I telescopii diottrici, avendo altresì ricevuto dei grandi perfezionamenti nella costruzione degli obbiettivi tanto dal lato dell'acromatismo quanto da quello dell'ampiezza, contrastano quindi la preminenza a quelli catadiottrici (1).

In generale i vantaggi più importanti dei cannocchiali, di qualunque specie essi siano, terrestri od astronomici, diottrici o catadiottrici, derivano primieramente dal raccogliere incomparabilmente più luce di quella che può entrare ordinariamente nell'occhio per la pupilla; in secondo luogo dal disporre i raggi lucidi provenienti dall'oggetto sotto un angolo molto più grande di quello che avrebbero senza il loro socorso. Giacchè il cannocchiale, pel quale appariscono gli oggetti sotto angoli ottici 100 volte più grandi di quelli che si vedrebbero ad occhio nudo, li fa vedere come se fossero alla distanza 100 volte minore. D'altronde con lenti e con ispecchi di grande apertura si giunge a riunire una considerabile quantità di deboli raggi lucidi da oggetti poco illuminati, in maniera da poterli scorgere an-

(1) Chi bramasse d'apprendere le principali cognizioni scientifiche per la costruzione dei cannocchiali acromatici, può leggere con profitto le *Memorie sulli cannocchiali diottrici* di Ruggiero Boscovich. Milano 1771, opuscolo in 8° di pag. 114 ed una tavola.

che di notte principalmente a cielo sereno. Gli astronomi con quei cannocchiali scoprono delle comete che non si vedono ad occhio nudo, e il comandante d'una flotta può scorgere sul mare da lontano le navi dell'inimico. È in questo senso che alcuni chiamano gli strumenti, dotati di grandi obbiettivi, *cannocchiali da notte*.

Per valutare con abbastanza esattezza il campo d'un qualunque cannocchiale, basta di dirigerlo verso una stella, che si trovi presso l'equatore, in maniera ch'essa corrisponda al mezzo del campo. Enumerando i secondi di tempo che impiega la stella a scomparire dal campo del cannocchiale, se ne avrà la grandezza, sapendosi che 4 secondi di tempo rappresentano un angolo di 1'.

Un telescopio diottrico, che abbia l'obbiettivo di 16 centimetri di diametro e di 4 metri di distanza focale, produce l'ingrandimento di 400 in 500 volte le dimensioni lineari dell'oggetto, ed è già uno dei più grandi apparati ottici di questo genere. La somma difficoltà di ottenere dal flinto scevro di vene e di difetti è uno degli ostacoli per costruire degli obbiettivi acromatici di grandi dimensioni. Fraunhofer ha eseguito un obbiettivo acromatico di più di 30 centimetri di diametro e della distanza focale di metri 7,62 destinato per l'osservatorio di Dorpat, producendo un ingrandimento di 750 in 800. Gli strumenti più grandiosi per esplorare il cielo sono quelli catadiottrici. Il grande telescopio, fatto eseguire da Herschel padre per l'osservatorio di Greenwich, ha lo specchio del diametro di metri 1,22 e la distanza focale di metri 12. Servendosi per oculare di piccole lenti convesse, Herschel giunse a dare al suo strumento un potere amplificatore di 6450 per le stelle fisse; ma in generale cogli oculari comuni l'ingrandimento era molto minore. Il più grande apparato di questa specie che si conosca è il telescopio fatto costruire in Inghilterra dal conte di Rosse, i cui effetti sono portentosi (1). Questo gigantesco telescopio ha lo specchio del diametro di m. 1,83 (6 p. inglesi) e della distanza focale di quasi metri 16,50 (54 piedi). L'ingrandimento prodotto da questo cannocchiale catadiottrico è molto superiore a quello di Herschel, ed una stella nebulosa vicina al Toro, che compariva unica al telescopio stesso di Herschel, risultò a quello di Rosse un gruppo di parecchie stelle (2).

Gli oggetti ben illuminati giungono appena ad essere veduti ad occhio nudo quando sono posti alla distanza di 5000 volte il loro

(1) Vedi *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. XXIV, pag. 209.

(2) Lo stesso tomo degli *Annali* su citati, pag. 214.

diametro (§. 908). Ammettiamo pure che possano essere veduti alla distanza di 6000 volte il loro diametro. La luna è distante da noi di 60 raggi terrestri, ed un oggetto per essere quindi veduto da noi su di essa ad occhio nudo dovrebbe avere per lo meno la grandezza della 6 millesima parte di 60 raggi terrestri, ossia la centesima parte d'un sol raggio. Supponiamo che si abbia un telescopio che ingrandisca non di 6 in 7 mila volte come quello di Rosse, ma di 10000 volte le dimensioni lineari d'un oggetto illuminato. Col medesimo potrebbe essere veduto nella luna un oggetto della milionesima parte del raggio terrestre o delle dimensioni di metri 6,40, essendo il raggio della terra di metri 6376000. Da qui si apprende quale credenza si doveva prestare alla notizia sparsasi alcuni anni sono, di cui parlarono tutti i fogli d'America e d'Europa ed alla quale prestarono fede molte dotte persone ed anche il sig. F. cultore d'astronomia, che Herschel era giunto a vedere con un telescopio gli abitanti della luna e persino le erbe che crescono nei prati di quel satellite della terra. I quali oggetti, ritenuti anche luminosi come le stelle fisse, col telescopio da noi supposto dovevano ancora avere, per essere appena veduti, le dimensioni lineari di 6 in 7 metri. E non sarà quindi esagerato se si ritenga che gli oggetti nella luna per essere veduti distintamente coi più grandi telescopii sinora costrutti è d'uopo che siano del diametro di 200 e più metri.

951. Dopo aver parlato degli apparati ottici che sussidiano la vista, veniamo a far conoscere quelli appartenenti alla seconda classe. Il *microscopio solare* è un apparato, col quale le imagini degli oggetti sono proiettate sopra un piano bianco nella camera nera, in modo da essere visibili a più persone contemporaneamente. Esso trae il suo nome dal modo d'illuminamento degli oggetti, sui quali cadono i raggi solari riverberati da uno specchio e concentrati mediante lenti convesse. In un pertugio, praticato nell'imposta della finestra della camera nera, è assicurata a vite la lente AB (fig. 181). Questa lente riceve i raggi solari riflessi orizzontalmente dal portaluce CD (§.759) convenientemente inclinato al di fuori della stanza. Alla viva luce trasmessa dalla lente AB si espone il corpo, come piccoli insetti, polveri ecc., assicurato sul portoggetti *pq*, che entra a corsoio in un'apertura trasversale del tubo. La lente convessa *ab*, a piccola distanza focale, è collocata in modo che il portoggetti è situato un poco più distante del suo fuoco. Si forma quindi dalla parte posteriore l'imagine reale MN molto ingrandita e capovolta in riguardo all'oggetto. L'imagine è ricevuta sopra lo scrimaglio EF coperto di carta bianca.

Per evitare l'aberrazione di sfericità, la lente microscopica *ab* è circondata d'una viera di piombo, che impedisce il passaggio a tutti i raggi lucidi un poco obliqui all'asse, e ciò allo scopo d'ottenere l'imagine ben contornata e distinta. L'oggetto *mn* è collocato vicinissimo al fuoco per avere il maggiore ingrandimento, aumentando le dimensioni lineari dell'oggetto in riguardo a quelle dell'imagine nel rapporto di $d:f$ ossia della distanza dell'oggetto dalla lente *ab* all'intervallo che separa la lente medesima dall'imagine MN (§. 921). Il più piccolo insetto assume sullo scrimaglio la forma d'uno spaventevole colosso, quando la lente sia di distanza focale assai corta. Le imagini conservano ancora abbastanza chiarezza tanto in virtù della luce solare molto intensa trasmessa sull'oggetto della lente AB, quanto in causa dell'oscurità dello spazio dove si formano. Per rendere i raggi solari ancor più concentrati sull'oggetto, si suole mettere, in seguito alla lente AB, una seconda lente convessa. Parimenti per aumentare l'ingrandimento ed impedire l'influenza dell'aberrazione di sfericità si suole altresì disporre un'altra lente microscopica fra il portoggetti e la lente *ab*.

Gli oggetti da sottoporsi all'osservazione col microscopio solare bisogna che siano trasparenti o per la loro esilità o per la loro natura, affinchè la luce possa internarsi in essi ed illuminarne ogni parte. Quando si vogliono esaminare oggetti opachi, come la leggenda di una piccola moneta, un'ape, un ragno ed altri insetti somiglianti, l'istrumento ha unito l'apparato della figura 182, pel quale prende il nome di *megascopio*. I raggi, luminosi, concentrati dalla lente del microscopio solare, cadono convergenti sullo specchio *ab* inclinato a 45° e sono riflessi riuniti sull' oggetto *m* ritenuto da un apposito sostegno, che serve di portoggetti. La lente *ef* riceve i raggi lucidi dell'oggetto *m* e forma, come nel microscopio solare, l'imagine reale sullo scrimaglio.

952. La *lanterna magica* nella costruzione e negli effetti poco differire dal microscopio solare, ed è così chiamata per offrire essa alla gente volgare un'apparenza di prestigio. Per coloro che si dedicano alla scienza nulla vi ha di magico, e l'apparato rientra nella classe di quelli che sono di puro trattenimento. Consiste in una cassetta quadrangolare o rotonda C formata di lamina metallica o di assicelle (fig. 183). I raggi del lume L, in parte direttamente ed in parte per riflessione dello specchio concavo *bc*, giungono sulla lente convessa *a*. Questa lente concentra i raggi ed illumina vivamente delle figure per lo più bizzarre disegnate con colori trasparenti sopra la-

mine di vetro, che s'introducono nello spazio *ef*. Una lente *g* posta a conveniente distanza da quelle figure ne dipinge le imagini sopra un piano bianco, come nel microscopio solare. Siccome le imagini sono capovolte per rispetto all'oggetto, così per averle diritte bisogna introdurre le lamine di vetro nel tubo della lanterna colle figure rovesciate.

La lente *g* non è di distanza focale così corta come quella del microscopio solare, perchè le figure disegnate sul vetro hanno già delle dimensioni sensibili. Nelle migliori lanterne magiche per avere ben distinte le imagini vi ha tra la lente *g* e l'oggetto una seconda lente, fra le quali si regola l'intervallo necessario ad ottenere per una data distanza ben distinte le imagini.

Questo apparato volgare diventa scientifico, quando la lente *g* abbia corta distanza focale, come nel microscopio solare, e sia munito di un portoggetti capace di applicarvi gli esilissimi corpi che si vogliono esaminare. In questo caso l'apparato prende il nome di *microscopio a lanterna*.

953. La lanterna magica con alcune modificazioni fu trasformata in uno strumento diretto a produrre un effetto molto più imponente cui fu dato il nome di *fantasmagoria*. Abbiamo dimostrato che l'imagine, prodotta da una lente convessa, giunge al maggiore ingrandimento quando l'oggetto coincide quasi col fuoco, e va diminuendo a misura se ne allontana diventando eguale all'oggetto medesimo e poscia sempre più piccola mano mano che si accresce l'intervallo da cui esso è separato dalla lente (§. 921). Allo scopo di conseguire questa variazione nella grandezza dell'imagine, il tubo della lente *g* (fig. 184) va a sfregamento dentro l'altro dove si pongono le figure ed è assestata la lente illuminante *a*. La cassetta è sostenuta da piccole ruote alla foggia d'un carretto, e nel farla trascorrere sopra un piano il moto si comunica, per mezzo di ordigni appositi o di ruote dentate, al tubo mobile della lente microscopica *g*, la quale per tal modo viene avvicinata od allontanata dall'oggetto secondo che il carretto è diretto in uno o nell'opposto verso. Le imagini, poste avanti all'apparato, vengono in tal guisa ingrandite od impicciolite secondo il moto di avanzamento o di retrocedimento, che s'imprime alla cassetta della lanterna magica.

Le rappresentazioni fantasmagoriche si danno in uno spazio interamente buio, e l'apparato resta nascosto agli spettatori. Avanti alla lente *g* è distesa sopra un telaio una sottile mussolina gommata *pq*, che costituisce in certo modo la tela del quadro, su cui vengono a

dipingersi le imagini prodotte dalla lanterna magica, e vedute dagli spettatori nella parte opposta per la trasparenza del piano su cui cadono. Il telaio della mussolina *pq* è con appositi ordigni allontanato od avvicinato alla lente per portarlo sempre alla giusta distanza cui si formino distinte le imagini. Questo moto è pure combinato con quello delle ruote di tutto l'apparato.

Le figure disegnate sui vetri sono del genere più bizzarro e fantastico; ed al momento che incomincia questa specie di spettacolo comparisce uno spettro piccolissimo, che s'ingrandisce con rapidità pei movimenti che s'imprimono a tutte le parti dell'apparato. Lo spettatore, non potendo giudicare al buio della distanza cui si trova la mussolina dove si dipingono le imagini, crede che lo spettro siasi ingrandito per essersi a lui avvicinato, e gli attribuisce nella sua imaginazione un movimento. La scena riesce imponente quando è data in sotterranei tappezzati di nero. Un profondo e cupo silenzio regna poco prima nel recinto, dove tante persone stanno attendendo l'incominciamento della lugubre rappresentazione. Suoni tetri e melanconici interrompono il silenzio che domina nella sala e servono di preludio a questi spettacoli; cosicchè non riesce difficile che gli astanti provino un certo spavento alla comparsa di oggetti, i quali sono diretti per se stessi ad illudere la loro mente e trovano nella loro imaginazione un luogo così ben preparato pei fantasmi.

Tutto il giuoco della fantasmagoria sta nel combinare il moto della mussolina relativamente alla lente, affinchè le imagini vengano a cadere sempre sulla mussolina medesima. Importa inoltre, perche l'illusione riesca perfetta, che lo spettatore non si accorga della presenza dell'apparato, al qual fine la periferia delle rotelle sono inviluppate di liste di pannolano per non rendere sensibile il rumore, ch'esse possono fare nello scorrere sul piano destinato pel movimento.

954. Altri apparati furono inventati, i quali non solo servono a semplice divertimento, ma possono diventare di qualche vantaggio nelle vicende sociali. Il *polemoscopio* è di questa specie, ed è un apparato con cui si vedono degli oggetti, che giaciono in direzione differente di quella verso cui è rivolto lo sguardo dell'osservatore. Esso trae il suo nome da *polemos* guerra, per l'uso cui può prestare nelle battaglie e nella difesa delle piazze forti, osservando con esso, come con un cannocchiale comune, l'inimico, stando al coperto di dietro alle mura od ai bastioni della fortezza senza che esso se ne avveda.

I raggi lucidi entrano per l'estremità P (fig. 185), cadono sullo specchio piano *ab* inclinato di 45° coll'asse del tubo, e sono ri-

flessi conservando la loro mutua direzione nella lente obbiettiva A. Da questa vengono trasmessi convergenti sull' altro specchio piano *cd*, pel quale giungono all'oculare B collo stesso grado di convergenza. Siccome le due lenti sono simili a quelle di cui si compone il cannocchiale di Galilei (§. 944), così l'occhio applicato all'apertura Q vedrà gli oggetti posti nel campo dell'apertura P come se li osservasse col cannocchiale. L'una parte del tubo scorre a sfregamento nell'altra per allontanare l'oculare dall'obbiettivo ed adattare così lo strumento secondo le diverse viste e la lontananza degli oggetti.

Aggiungendo ad un cannocchiale di Galilei un corto tubo munito lateralmente d'un ampio foro, cui corrisponde nell'interno uno specchio piano inclinato di 45° coll'asse del cannocchiale stesso, si ottiene uno strumento per osservare lateralmente, mentre, avendo il tubo altra direzione, sembra che lo sguardo sia altrove rivolto. È di tal maniera che si costruiscono gli *spioncini da teatro.*

Il polemoscopio si è eziandio disposto per riconoscere chi bussa alla casa senza affacciarsi alla finestra. L'individuo *a* si presenta alla porta P dell'abitazione della persona *b* (fig. 186); questa vede per riflessione sullo specchio *mn*, convenientemente collocato al di sopra della finestra F, l'individuo *a* pei raggi lucidi ricevuti direttamente dopo la prima riflessione o dopo essere di nuovo riflessi sopra un secondo specchio posto sul tavolo *t*.

955. Il *caleidoscopio* è un apparato ottico, col quale si ottiene una indefinita varietà di disegni distribuiti con mirabile euritmia e con ordine più o meno bello nelle forme e nei colori, e che trae il suo nome dalle tre parole greche *calos* (bello), *eidos* (forma, imagine) e *scopeo* (vedo). L'artista trova in questo strumento una fonte inesauribile per fecondare la sua imaginazione e per attignervi un'infinità di modelli proprii agli ornamenti ed alle decorazioni di qualunque opera dell'industria.

Il caleidoscopio, inventato da Brewster nel 1818, è fondato sui principii della visione per mezzo degli specchi piani altrove spiegati (§. 916). Esso consiste comunemente in un tubo di metallo o di cartone, nel quale sono disposti due lunghi specchietti paralleli all'asse del tubo ed inclinati fra loro sotto un certo angolo. Ad un'estremità è adattata una larga viera o zona fatta a scatola alla foggia dei coperchi di cannocchiale e chiusa alle due estremità da due dischi piani di vetro, l'uno diafano posto verso l'interno del tubo e l'altro spolito situato esternamente. I due dischi lasciano fra loro l'in-

tervallo di alcuni millimetri, dove si rinchiudono dei piccoli pezzi e frammenti di vetro di vario colore e forma e dei piccoli oggetti, il tutto suscettibile di cambiare posizione in virtù del suo peso, allorchè si rivolge orizzontalmente il tubo o soltanto la viera dove si contengono quei corpi. L'altra estremità è chiusa da un coperchio munito nel centro d'un foro circolare, a cui si applica l'occhio. Facendo girare lentamente con una mano il tubo o la zona, incomincia lo spettacolo ed all'occhio si presenta un cambiamento continuo di figure, di ornamenti e di decorazioni che si succedono senza limite.

I due specchi piani disposti lungo il tubo hanno le sezioni longitudinali parallele, e quelle trasversali inclinate ad angolo. Si formerà quindi per riflessione, circolarmente ed euritmeticamente disposte, una serie d'imagini degli oggetti diversi racchiusi verso l'estremità del tubo (§. 916). Affine di ottenere un'apparenza regolare in tutto il campo della visione, l'angolo d'inclinazione degli specchi deve essere aliquoto esatto della circonferenza. Senza questa condizione verso il lato del campo, opposto a quello dove trovansi gli oggetti, apparirebbe una porzione di settore di cerchio incompleta. Dalle cose dette intorno alla visione coi due specchi ad angolo si apprenderà inoltre che l'angolo non solo deve essere aliquoto, ma stare un numero pari di volte nella circonferenza; altrimenti comparirebbero verso gli orli delle porzioni d'imagini, che non si riunirebbero o che, sovrapponendosi, si confonderebbero reciprocamente. È appunto perciò che gli specchi non devono essere posti sotto l'angolo di 120°, 72°, 40° ecc. cioè di $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{9}$ ecc. della circonferenza, ma bensì di 90°, 60°, 45° cioè di $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$ ecc. della circonferenza.

A schiarimento del fenomeno siano AC, BC le sezioni dei due specchi piani (fig. 187) ed MN l'oggetto situato fra loro od avanti a ciascuno di essi. In virtù dello specchio AC si ha l'imagine M*n*, e dell'altro BC l'imagine N*m*. Ma si è veduto che queste imagini diventano, rispettivamente per gli specchi, produttrici delle seconde imagini *m'n*, *mn'*, le quali ambedue danno origine con tre riflessioni a due imagini, che si confondono nella sola *m'n'*. Si scorge quindi come le cinque imagini che ne risultano, unite a quella diretta dell'oggetto, fanno la somma di 6 conforme ai principii dichiarati (§.916) le quali si uniscono due a due e formano un triangolo equilatero, sul cui perimetro le 6 imagini sono euritmeticamente disposte. Se quindi l'oggetto cambia posizione, tutte le imagini la cambiano del pari, e

danno luogo nel loro insieme ad un altro disegno del tutto diverso dal precedente. Ripetendo lo stesso ragionamento per tutti gli altri oggetti rinchiusi nella scatola del caleidoscopio, si apprende come nasca l'indefinito numero di variazioni di forme ad ogni cambiamento di posizione degli oggetti.

Si sono formati dei caleidoscopii con tre, quattro e più specchi piani che tappezzano in parte ed anche per intiero la superficie interna del tubo componendo in tal caso un prisma cavo che ha per sezione un poligono, per cui lo strumento dicesi *poligonale*. In generale questi caleidoscopii non presentano i vantaggi di quelli semplici a due specchi, quantunque estendano di molto il campo della visione. Brewster, per aumentare il campo dello strumento, suole anche dargli la forma di tronco di cono o di piramide, applicando l'occhio alla base più piccola. La lunghezza degli specchi è arbitraria, e secondo, Brewster, può farsi di 14, di 27, ed anche di 32 centimetri, colla larghezza di 2 in 2,5 centimetri. Nella disposizione dell'istrumento l'oggetto deve essere successivamente situato vicinissimo od a contatto coll'estremità degli specchi; poichè se esso viene allontanato si disturba l'euritmia. Allorquando il caleidoscopio è destinato ad indagini od a dimostrazioni d'ottica importa che abbia aggiunto un ordigno per far variare, quando si voglia, l'angolo d'inclinazione degli specchi.

Affine d'introdurre nel caleidoscopio diversi oggetti animati ed inanimati, Brewster gli ha aggiunto una lente convessa LL (fig. 188), per mezzo della quale l'imagine rovesciata dell'oggetto lontano *mn* si forma all'estremità degli specchi e si trova in circostanze di entrare sotto il dominio delle trasfigurazioni caleidoscopiche. In quest'aggiunta la lente è disposta in un tubo e i riflettori in un altro; talchè allontanandola od avvicinandola dal foro, cui si applica l'occhio come l'obbiettivo d'un cannocchiale, si possono far entrare nelle incantevoli trasformazioni del caleidoscopio gli oggetti che sono a differenti distanze. Si è in tal modo che fiori, alberi, statue, animali, quadri, ecc. ecc. possono entrare nelle combinazioni euritmetiche del caleidoscopio.

Abbiamo detto che il caleidoscopio può essere di gran sussidio alle arti d'ornamento come alle fabbriche dei tappeti, dei merletti, delle tele damascate o stampate, della carta per tappezzerie, come pure riuscire utile in diverse circostanze agli architetti, agli incisori ed a molte altre arti. A tale scopo è necessario adattare all'istrumento un piede, su cui mantenerlo nella posizione fissa mentre l'artista copia la figura che gli presenta. È ancor meglio d' adattarvi

la camera lucida, di cui quanto prima parleremo, col mezzo della quale, senza essere molto esercitato nel disegno, si può delineare esattamente lo schizzo della figura che presenta il caleidoscopio.

956. Il *diorama* è una prospettiva che si rappresenta in luoghi circoscritti e rischiarati generalmente da lumi artificiali, della quale si aumenta l'illusione ottica con lenti, a traverso cui essa è veduta. Talvolta il disegno in prospettiva è illuminato dalla luce naturale diffusa, riverberata da superficie bianche, come nel panorama (§. 912). Il buon effetto del diorama dipende principalmente dalle regole di prospettiva e da un'illuminazione ben disposta per imitare la luce solare, e le lenti concorrono come parte secondaria alla produzione del fenomeno. Si rappresenta d'ordinario il diorama in una camera, che si divide in due parti mediante un assito. In uno dei compartimenti sta l'osservatore, e per ciò da questo lato vi ha poca luce e l'assito è tutto coperto o tinto di nero; nell'altro è disposta la prospettiva del diorama, le cui pareti sono coperte o tinte di bianco affinchè anche per esse venga riflessa una luce diffusa, diretta a rischiarare uniformemente tutto il campo della visione. Il disegno prospettico è appeso verticalmente alla parete parallela ed opposta all'assito e di contro alle finestrelle dove sono collocate le lenti, per le quali deve essere osservato. La prospettiva è rischiarata dalla luce, riflessa da larghi piani di tela distesa a guisa di quadro e verniciata di bianco. La luce di alcune lucerne a riverbero è diretta verso questi piani, i quali sono convenientemente inclinati per riceverla e per diffonderla colla riflessione sui disegni del diorama. Alle volte questi disegni sono rischiarati dalla luce naturale, che entra dall'alto per aperture lasciate appositamente, cade sui piani di tela ed è riverberata sul disegno prospettico. Le lenti sono di forma quadrangolare per rendere più ampio il campo orizzontale, ed hanno 5 in 7 decimetri di distanza focale. Agli orli delle finestrelle, cui sono applicate le lenti, è assicurato un canale fatto di assicelle ed annerito internamente, che si allarga verso il disegno a guisa d'una piramide troncata. Esso ha tale lunghezza da circoscrivere il campo della visione a traverso la lente in modo che non compariscano gli orli del disegno prospettico, il quale è posto nel sito dove corrisponde il fuoco della lente, il cui asse si trova nel punto di vista donde il pittore ha disegnato la prospettiva.

Il disegno trovandosi alla distanza focale della lente, i raggi lucidi degli oggetti, che esso presenta, giungono all'occhio paralleli e sembra che provengano da punti situati in grande lontananza dall'osser-

vatore. Nell'occhio, applicato dalla parte opposta, si raccolgono parecchi di quei raggi, che gli rappresentano gli oggetti come se fossero al naturale mancandogli termini di confronto per giudicare della distanza cui si trovano, che valuta soltanto dagli angoli ottici eguali a quelli cui apparirebbero veduti stando nel punto di vista reale (§. 909). Vi sono tante finestrelle colle rispettive lenti, quanti sono i disegni che si presentano agli spettatori, e così questi hanno il piacere di contemplare successivamente senza incomodo l'eruzione del Vesuvio, l'animato ponte del Tamigi a Londra, l'incantevole piazza di S. Marco a Venezia, passando in un momento dalle deliziose viste della Sicilia e di altri luoghi d'Italia a quelle spaventevoli delle rupi e delle ghiacciaie nella Siberia e nelle regioni settentrionali. Il diorama portatile è costrutto secondo gli stessi principii ed è conosciuto in diverse parti d'Italia sotto il nome di *mondo nuovo*.

957. Tutti gli apparati, di cui abbiamo sinora discorso, danno imagini reali o virtuali degli oggetti, le quali interesserebbe d'avere projettate sopra piani dove poterne seguire comodamente i contorni colla matita e delinearle. A tale intento provedono le *camere ottiche*, che sono *oscure* o *lucide*.

La *camera ottica oscura* è stata inventata sin dall'anno 1550 dall'italiano G. B. Porta. Essa è fondata sullo stesso principio della formazione dell'imagine nell'organo della visione (§. 885). Una lente, applicata al foro *f* d'una stanza chiusa da ogni lato (fig. 136), forma l'imagine *ab* rovesciata dell'oggetto esterno AB, e presenta una vera camera ottica oscura. Dentro una custodia si disponga uno specchio piano, superiormente al foro praticato nell'imposta della stanza, in modo che raccolga i raggi lucidi degli oggetti sparsi nei luoghi circostanti e li rifletta verso la lente assicurata nel foro medesimo, e si avranno le imagini reali di tutti quegli oggetti, le quali si riceveranno alla conveniente distanza sopra un piano bianco o meglio sopra una superficie sferica, che abbia per raggio la distanza focale della lente. Qualunque stanza, che si chiuda da ogni lato può in tal maniera, essere ridotta a camera ottica, le cui imagini riescono maggiormente vivaci quando le pareti siano tappezzate di nero. Una camera ottica di questa specie esiste nell'osservatorio meteorologico del R. Liceo a S. Alessandro di Milano. L'imagine così ottenuta riesce verticale. Per averla sopra una superficie orizzontale bisogna erigere sopra il tetto della stanza un cupolino abbastanza elevato, affinchè uno specchio collocato alla cima domini tutti i luoghi circostanti, di cui si desiderano avere le imagini nella camera oscura. Lo specchio, mediante

viti continue, è suscettibile di due movimenti, l'uno orizzontale con cui si rivolge verso qualunque plaga dell'orizzonte, l'altro intorno ad un asse per dargli l'inclinazione conveniente a riflettere i raggi lucidi degli oggetti sopra la lente posta nella soffitta della stanza. In tal maniera si hanno le imagini degli oggetti medesimi sopra una superficie orizzontale della stanza. Una bellissima camera ottica, costrutta in questa guisa, esiste nel R. Osservatorio di Greenwich presso Londra, di cui dà la descrizione il prof. Saverio Poli, ed alla cui imitazione egli ne fece costruire una a Napoli. Altra consimile esisteva sotto il governo italiano nella villa reale presso la Porta Orientale di Milano contigua al pubblico passeggio. L'animato corso di Porta Orientale, i viali circostanti del pubblico convegno percorsi da carrozze e da una moltitudine di persone e tutti gli altri oggetti all'intorno, venivano successivamente dipinti sulla superficie orizzontale di quella camera ottica coi loro colori naturali e coi loro rispettivi movimenti.

Si fanno altresì *camere oscure portatili*, che riescono vantaggiose ai disegnatori. La più comune consiste in una cassetta AB (fig. 189), alla cui faccia A è assicurato il tubo *cd* fornito della lente convessa. I coni lucidi, che giungono dall'oggetto MN sulla lente, sono trasmessi convergenti allo specchio piano *ef* inclinato di 45°, che li riflette verso la faccia superiore della cassetta dove dipingono l'imagine *mn* sopra una lastra di vetro smerigliato. Distendendo su questa lastra un foglio di carta, una persona coperta all'intorno da una cortina nera, per escludere la luce diurna e rendere più viva l'imagine, può scorrerne colla matita i contorni e delineare così gli oggetti circostanti per ritrarli poscia in tela o scolpirli sul rame e sulla pietra.

Alla camera ottica portatile si è data anche la forma di piramide troncata (fig. 190), alla sommità della quale è collocato lo specchio, che riflette sulla lente i raggi lucidi degli oggetti circostanti e si dipingono le imagini sul fondo della piramide, o sul foglio di carta che vi è disteso, per essere delineate colla matita dal disegnatore. Lo specchio può essere più o meno innalzato od inclinato per ricevere i raggi dei diversi oggetti posti all'intorno a differenti distanze. In ambedue queste camere ottiche la lente è collocata a tale distanza che il suo fuoco corrisponde alla superficie, sulla quale si dipingono le imagini, e quindi è mobile per assestarla nella posizione determinata dalla lontananza cui si trova l'oggetto.

Un prisma rettangolo isoscele, una cui superficie è lavorata convessa, può essere applicato alla camera ottica fissa o portatile per servire

contemporaneamente di specchio e di lente. I raggi lucidi dell'oggetto MN entreranno normalmente pel lato *ac* (fig. 191) e, riflessi sulla superficie dell'ipotenusa *bc*, saranno rifratti dalla superficie lenticolare *ab* dipingendone l'imagine *mn* sul piano sottoposto.

958. Trascorsero circa due secoli e mezzo dall'invenzione della camera ottica oscura a quella lucida fatta nell'anno 1809 dall'inglese Wollaston e poscia variata sotto diverse forme da alcuni ottici italiani. La camera lucida può in parecchi casi essere sostituita all'oscura a profitto dei disegnatori. Osservando con uno specchio piano degli oggetti, ne vediamo di dietro le imagini: se si potessero queste imagini far cadere sopra un foglio di carta bianca e scorgere coll'occhio questa carta, la mano e la matita per seguirne i contorni, si avrebbe allora un mezzo facile per delinearle ed ottenere una rappresentazione fedele degli oggetti medesimi. Ma lo specchio è opaco e non soddisfa a tali condizioni, le quali si riscontrano nella camera lucida vedendosi con questa contemporaneamente l'imagine e la matita per delinearla.

La camera lucida di Wollaston consiste in un prisma quadrangolare *abcd* di bel cristallo bianco (fig. 192), di cui le due facce *ab*, *bc* sono fra loro ad angolo retto, mentre le altre due *cd*, *ad* fanno l'angolo *adc* di 135° e i due angoli in *a*, *c* insieme costituiscono per conseguenza altri 135° e sono fra loro eguali. Il prisma è collocato con uno dei lati *bc* verticale mentre l'altro *ab* risulta orizzontale. I raggi lucìdi dell'oggetto *mn* penetrano per la faccia *bc*, dove incontrano la *cd* su cui subiscono la riflessione totale (§. 773), e dopo una seconda riflessione sull'altra faccia *ad* giungono verso lo spigolo del prisma in *a*. L'occhio applicato in questo sito ne riferisce l'imagine in *m'n'* sopra un foglio di carta bianca, che si è previamente disteso. La pupilla dell'occhio corrisponde per metà allo spigolo del prisma ed accoglie i raggi lucidi dell'oggetto dopo due riflessioni, e coll'altra metà riceve direttamente i raggi lucidi dal luogo dove è situata la carta. In tal maniera si vede su di essa, oltre l'imagine, la mano e la matita con cui si deve delinearne i contorni. I raggi lucidi entrano ed emergono dal prisma normalmente o quasi normalmente, per cui non provano veruna rifrazione nè decomposizione e le imagini non riescono colorate. L'uso di questo strumento non ha bisogno di oscurità e si adopera in pieno giorno a differenza della camera ottica descritta nel precedente paragrafo.

La camera lucida è di gran sussidio ai dilettanti del disegno di paesaggio, e serve agli artisti per avere con prontezza lo schizzo di

una prospettiva o d'un panorama. Ma adoprata nella sua semplicità sarebbe soggetta a diversi inconvenienti, ai quali si è rimediato. Primieramente osserveremo che la matita e la carta si trovano alla distanza della visione distinta, mentre l'oggetto è generalmente molto lontano. D'altronde la porzione del lato *bc* corrispondente alla superficie riflettente *cd* abbraccia uno spazio troppo ristretto dell'estensione che si vuole ritrarre. A questo doppio inconveniente si è rimediato con una lente convessa *v* posta davanti al lato del prisma pel quale entrano i raggi lucidi e con una lente concava *u* collocata al dissotto delle due faccie ad angolo ottuso (fig. 193). Con una o con ambedue le lenti si regolano i raggi lucidi degli oggetti, che dopo due riflessioni giungono all'occhio, in modo d'averne l'imagine alla distanza della visione distinta eguale a quella cui si scorge direttamente la matita. In secondo luogo può avvenire che l'imagine degli oggetti ottenuta per riflessione sia così viva da ecclissare l'imagine diretta, ed all'inverso. Si corregge questa differenza di luce con un vetro leggermente colorato, disposto in apposita incassatura come la lente concava, che si rivolge ora nella direzione corrispondente all'imagine dell'oggetto, ora in quella dei raggi con cui si vede direttamente la matita e la carta, per attenuare lo splendore dell'imagine la più viva. In terzo luogo riesce difficile di mantenere l'occhio nella posizione, in cui la pupilla corrisponda per metà al prisma e per l'altra metà sia libera. A tale scopo si è unito aderente alla faccia superiore del prisma una laminetta d'ottone tinta di nero *st*, girevole sopra un perno e fornita verso il suo mezzo d'un foro del diametro di 5 in 6 millimetri. Girando la laminetta sul perno, si dispone il foro in modo che corrisponda per metà al prisma e per l'altra sia libero, e si ricevono così nella pupilla i raggi riflessi dell'oggetto e quelli diretti della matita. Si comprende eziandio che i miopi ed i presbiti debbono adoperare la camera lucida tenendo i loro occhiali, per la ragione che le lenti applicate all'apparato sono regolate per l'occhio comune. La camera lucida è d'ordinario montata sopra un piede, che si assicura ad una tavola con una vite di pressione e si può allungare o raccorciare coi diversi pezzi scorrevoli l'uno nell'altro.

Amici ha imaginato diverse camere lucide (1), le quali riescono più vantaggiose di quella di Wollaston, di cui alcune furono unite ai suoi microscopii diottrico e catadiottrico (§§. 940 e 941). Una delle camere lucide d'Amici consiste in una lastra *ab* di cristallo

(1) *Sopra le camere lucide*, del prof. G. B. Amici. Bologna 1819.

(fig. 194) a superficie esattamente parallele e della grossezza di circa 6 millimetri, congiunta collo specchio metallico *cd* sotto l'angolo di 45° *bcd*. I raggi lucidi, provenienti nella direzione *mn*, sono riflessi dallo specchio verso *nr* sulla lastra di cristallo *ab*, da cui subiscono una seconda riflessione secondo *rp* e giungono all'occhio, il quale ne vede le imagini proiettate al di sotto, unitamente alla mano colla matita a traverso la lastra *ab* per seguirne i contorni. La porzione di luce, che entra nella lastra, si rifrange secondo *rs*, e giunge per riflessione in *t*, dove ritorna nell'aria rifrangendosi di nuovo nella direzione *tq* parallela al raggio *rp* (§. 774). Per questo parallelismo dei raggi, che giungono all'occhio, non si nuoce alla chiarezza ed alla distinzione della visione.

Un'altra disposizione di camera dell'Amici è rappresentata nella figura 195, la quale differisce dalla precedente soltanto nel prisma rettangolo *c* sostituito allo specchio metallico, la cui faccia ipotenusa è inclinata colla lastra *ab* sotto l'angolo di 45°. Il raggio *mn* entra per un lato minore del prisma, e si rifrange verso l'ipotenusa, dove è riflesso in *r* ed esce per l'altro lato minore rifrangendosi dalla parte opposta e cade in *s* sulla lamina *ab*, da cui, di nuovo riflesso nella direzione *sp*, vien diretto all'occhio. Amici ha pensato d'impedire che verun raggio lucido, estraneo a quelli degli oggetti, cada nel contorno del luogo per dove il raggio *rs* esce dal prisma e giunga insieme ad essi nell'occhio. A tal fine egli ha coperto il prisma da quel lato con una laminetta opaca, nella quale vi è praticata una fessura per dove passano i raggi inviati dagli oggetti e pervengono all'occhio collocato in una posizione determinata. La camera lucida così assestata vedesi nella figura 196 unitamente ai vetri, convesso e concavo ed a quello colorato, per avere l'imagine alla distanza della visione distinta e renderne la chiarezza uniforme con quella della carta su cui si dipinge.

Consoni ha pure imaginato una camera lucida, che ha costrutto per parecchi artisti e dilettanti di paesaggio avanti che l'Amici ne pubblicasse la descrizione unitamente a quelle che abbiamo fatto conoscere e ad altre di minor importanza, e per la quale lo stesso Consoni ha mosso riclami (1). Amici è troppo ricco d'invenzioni ottiche per contenderne al Consoni la priorità. La camera lucida di Consoni consiste in una lamina *ab* di cristallo (fig. 197) a facce parallele, congiunta ad angolo acuto con uno specchio metallico *cd* e riuniti in

(1) Si vegga il t. XVI del giornale la *Biblioteca italiana* 1819, pag. 68.

un'incassatura munita superiormente dell'apertura $p$. I raggi lucidi *mn* degli oggetti attraversano la lastra *ab* e giungono sullo specchio, donde sono riflessi verso la lastra di cristallo in *o* e, dopo una seconda riflessione, prendono la direzione *op* e giungono per l'apertura all'occhio. Questo vede nella direzione *poq* l'imagine unitamente alla carta ed alla matita per delinearla. L'apparato di Consoni è pure fornito delle lenti e di un vetro di color verde per lo scopo suindicato.

Infine diremo che Mozzoni ha avuto l'idea di affumicare leggermente una lastra di vetro per farla servire di specchio senza che impedisca di vedere di dietro le imagini e la matita per seguirne così i loro contorni (1).

959. Sono tre secoli che Giambattista Porta ha inventato la camera ottica: in questo lungo spazio di tempo non si cessò mai di mirare la nitidezza dei contorni, la verità di forme e di colori, la degradadazione esatta di tinte delle imagini offerte da quell'apparato; e non si estinse altresì il desiderio di vedere quei bei dipinti della natura conservati sul quadro dove si riproducono, cercando sempre il mezzo di scolpirli ed averli permanenti. Si misero per tale scopo alla prova delle sostanze sensibili all'azione della luce, di cui si copriva la superficie destinata a ricevere quelle imagini. Il cloruro d'argento, che è bianco, si annerisce sotto l'influenza della luce solare (§. 883). Un foglio di carta spalmato con questa materia, ricevendo le imagini luminose, si conservava bianco nelle parti non percosse dalla luce, si anneriva in quelle fortemente illuminate, e le mezze tinte si mostravano di un grigio più o meno carico. Le imagini dunque, in quanto alle tinte, restavano scolpite all'inverso di quelle che erano rappresentate sulla superficie della camera ottica, essendo nero dove doveva essere bianco e bianco dove doveva ersere nero, e le mezze tinte avendo pure inverse le loro gradazioni. L'impressione delle imagini fatta in tal maniera aveva dunque una grande imperfezione, che alterava notabilmente l'indole e la bellezza di quei dipinti della natura.

È soltanto nell'anno 1839 che Daguerre, dopo un'insistenza di prove moltiplicate e continuate per moltissimi anni, giunse ad ot-

(2) *Descrizione d'una nuova camera lucida*. Milano 1827. Opuscoletto di pagine 32 con una tavola. In esso l'autore descrive anche la camera lucida di Consoni, ma dà a divedere di non essergli allora conosciute le diverse combinazioni di camere lucide dell'Amivt, la cui descrizione è stata pubblicata parecchi anni prima della stampa del suo opuscolo.

tenere ciò che si cercava da tanto tempo ed ha avuto per esso incominciamento la *fotografia* o il *disegno fotografico*. Ottenne egli questa sorta di dipinture sopra uno strato d'argento, di cui è coperta una lamina di rame. La tela del quadro, su cui si dipingono quelle imagini, è un sottilissimo strato di iodio di color giallo d'oro, che si precipita sulla lamina allorquando si colloca durante un certo tempo sopra una scatola, nel cui fondo sono sparse parecchie particelle di quella materia abbandonata all'esalazione spontanea. La lastra metallica, così coperta dallo strato di iodio, si pone nella camera oscura a ricevere l'imagine degli oggetti, di cui si vuole impresso il disegno fotografico (§. 957). Allorchè la si ritira dall'azione della luce non si scorge sulla medesima verun segno, e lo strato giallognolo di ioduro d'argento, su cui è caduta l'imagine, sembra ancora conservare l'uniformità di tinta in tutta la sua estensione. Esposta però la lamina in una seconda scatola all'emanazione ascendente dei vapori di mercurio, che s'innalzano da una cassula riscaldata a 75° centesimali per l'azione della fiammella d'una lampada ad alcoole, quel vapore produce tosto gli effetti i più mirabili. Esso si attacca alle parti della superficie della lamina che sono state colpite dalla viva luce, e lascia intatte le regioni rimaste nell'ombra, ed inoltre si precipita sugli spazii, che corrispondono alle mezze tinte, in più o meno grande quantità secondo che queste erano più o meno illuminate. Bisogna rendere fissa l'imagine della camera ottica così riprodotta ed impedire che venga alterata dalla luce. Si giunge a questo risultato agitando la lastra in una soluzione d'iposolfito di soda e lavandola in seguito con acqua tiepida distillata.

È questo in sunto il processo dato da Daguerre al nascere della scoperta. L'esposizione alla luce dello strato di iodio richiedeva da 10 in 15 minuti ed anche più nella stagione poco calda. Si sono trovate in seguito delle materie molto più sensibili all'azione della luce. Il cloruro di iodio, il bromo, alcuni bromuri e fluoruri furono successivamente sostituiti all'iodio per formare lo strato destinato a ricevere l'imagine da essere impressa sulla lamina metallica. L'esposizione non richiede con queste materie che alcuni secondi. Le diverse manipolazioni del processo di Daguerre furono del pari modificate o migliorate: non è del nostro istituto di descriverle, essendosi pubblicate a tale scopo delle istruzioni dettagliate per eseguire i disegni fotografici, dalle quali ognuno potrà apprendere quanto è necessario per riuscire, con un poco di pratica, felicemente in queste operazioni. Si sono altresì impressi i disegni fotografici sulla carta conveniente-

mente preparata (1), come pure si è tentato anche di ottenerli colle rispettive tinte colorate (2).

Allorquando si vuole dar ragione del processo di Daguerre, si presenta tosto alla mente l'idea che la luce nella camera oscura determini l'evaporazione dell'odio o della materia sensibile ove essa la colpisce, e che in quel luogo il metallo è posto a nudo. Su queste parti denudate il vapore mercuriale può liberamente agire producendovi un'amalgama bianca e non pulita, ed il lavamento colla soluzione d'iposolfito ha per iscopo di levare colla sua azione chimica le molecole di iodio, che la luce non ha evaporate, o colle parole dell'arte, di mettere a nudo le parti dell'argento che devono figurare le oscure del disegno. Ma in questa spiegazione, che sarebbero quelle innumerevoli mezze tinte sì maestrevolmente degradate che offrono i disegni di Daguerre? Si osservi che la lamina metallica non aumenta sensibilmente di peso coprendosi dello strato di iodio. L'aumento è molto sensibile per l'azione del vapore di mercurio; ma dopo la lavatura coll'iposolfito la lastra pesa meno. L'iposolfito leva dunque dell'argento, e l'esame chimico del liquido lo ha dimostrato.

Gli effetti della luce, che presentano i disegni fotografici, sembra che dipendano da sferule d'amalgama, le quali sono molto vicine nelle parti illuminate e diminuiscono gradatamente in numero nelle mezze tinte sino alle parti oscure dove scompariscono. La congettura pare confermata dalle osservazioni microscopiche, le quali mostrano questa successione di sferule. Se questa maniera d'interpretare il fenomeno dei disegni fotografici sulle lastre metalliche è la vera, come si spiegano quelli sulla carta, i quali non cedono in bellezza ai primi? In generale la luce, dove colpisce, modifica l'attrazione molecolare della superficie per certi vapori, la quale attrazione può essere di semplice adesione o d'affinità (§.96), come ho dimostrato in uno scritto intorno alle imagini che si ottengono sopra le superficie di corpi dopo essere trattati col calorico, coll'elettricità e con altri agenti (3); da cui nacquero eziandio i nomi di *disegni termografici* ed *elettrografici*. Come poi i vapori si dispongano per produrre tutte

(1) Vedi gli *Annali di fisica, chimica* più volte citati, t. XXVII, pag. 324 e XXVIII, pag. 195; come pure la seconda serie dei medesimi, t. III, pag. 100 e 104.

(2) Si vegga la seconda serie degli stessi *Annali*, t. III, pag. 89.

(3) Si vegga la mia Memoria: *Delle imagini prodotte da esalazioni vaporose sulla superficie dei corpi*, negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XV, pag. 181.

quelle mezze tinte e quelle degradazioni di luce, che si riscontrano nei disegni fotografici, ciò è difficile ad essere spiegato, ed Arago aveva ragione in questo senso di dire che *si faranno forse migliaia e migliaia di bei disegni coll'apparato di Daguerre avanti che il suo modo d'azione sia completamente analizzato.*

Intorno all'apparato di Daguerre, detto anche *daguerrotipo*, importa di conoscere la distanza cui deve essere posta la camera ottica per avere l'oggetto dipinto sopra una lastra di date dimensioni. Sia $p$ la distanza focale della lente, $d$ la lontananza cui deve esser posto l'oggetto e $g$ una delle dimensioni del medesimo, mentre $b$ è quella corrispondente dell'imagine. Si è dimostrato altrove (§. 921) che si ha $b=\frac{p}{d-p}\cdot g$, e per conseguenza $d=\frac{p\,(b+g)}{b}$. Si voglia quindi il ritratto fotografico del busto d'una persona dell'altezza di 80 centimetri sopra una lastra di 16 centimetri, essendo la distanza focale della lente di 50. Sostituendo questi valori si ha per la distanza richiesta $d=\frac{50\,(16+80)}{16}=300$, cioè la distanza dell'oggetto dalla lente dovrà essere nel nostro caso di 3 metri.

## CAPITOLO QUINTO

### DEL CALORE.

960. Il *fluido calorifico* o *calorico* è quell'agente che desta nei nostri organi la sensazione del caldo. Se ne provano gli effetti avvicinandosi alla fiamma d'una candela, esponendosi ai raggi del sole, accostandosi a materie che abbruciano, toccando corpi di recente battuti o sfregati ecc. Vedremo in seguito quali siano le sorgenti del calorico: intanto osserviamo che esso è atto a produrre degli effetti e delle modificazioni sugli altri corpi, riscontrandosi l'agente più attivo, più possente e più universalmente sparso nella natura e nelle arti; giacchè non solo riscalda, ma fonde, evaporizza, gassifica, infiamma tutte le materie lorquando ha un conveniente grado d'energia. Tutti i corpi per la sua azione passano dallo stato solido al liquido e da questo all'aeriforme; ed allorchè sembra inattivo, contrasta l'attrazione molecolare e la sua presenza rende più discoste le une dalle altre le molecole dei corpi, di cui aumenta il volume senza accrescerne il peso. Il calorico è sempre con noi, invade il nostro corpo e ne sentiamo dappertutto gli effetti, ai quali,

per esserci divenuti famigliari, spesso non prestiamo attenzione. L'effetto, che produce il calorico su di noi e sugli altri corpi, chiamasi generalmente *caldo*. Il vocabolo *calore* si adopera a designare tanto la causa che l'effetto, ed anche la parte della fisica che tratta di quell'agente. Infine diremo che per *temperatura* d'un corpo o d'un ambiente intendesi il *grado di calore* o di *riscaldamento*, che il corpo o l'ambiente manifesta mediatamente od immediatamente ai nostri sensi od agli strumenti che servono a riconoscerne la misura (§. 134). Per conseguenza si suol dire *alzare* od *abbassare la temperatura* dei corpi e degli ambienti il dare o togliere ai medesimi dei gradi sensibili di calore. Quando le scienze incominciarono a prendere una certa forma, si cercò di non confondere la causa coll'effetto, essendosi la prima chiamata *fluido igneo*, *materia del fuoco* e simili, ed in seguito con una sola parola *calorico*.

Discordi sono ancora oggidì i filosofi sulla natura del principio del calore. Abbiamo già detto che pel calorico si presentano due sistemi (§. 735): quello dell'*emissione* nel quale si ritiene come un fluido particolare sottilissimo ed elasticissimo, che esala dai corpi e si diffonde su quelli contigui e nello spazio con grandissima velocità; l'altro *delle ondulazioni* il quale si fa dipendere da un moto vibratorio, che si comunica all'etere universale e si diffonde nello spazio e su gli oggetti circostanti. Quantunque questa seconda ipotesi trovi molto fondamento nei fenomeni della luce (§. 736); incontra essa però molte difficoltà applicata a quelli del calore. Siccome il sistema nella nostra scienza serve soltanto a coordinare i fenomeni ed a facilitarne lo studio, senza esser ad esso inerente l'idea di realtà, e siccome nella rappresentazione dei diversi fatti ed effetti e nell'esposizione dei ragionamenti che ne conseguitano riesce più comodo di considerare il principio del calore come un fluido particolare che emana ed investe i corpi e si diffonde nello spazio; così, senza rinunciare alla speranza di vedere un giorno tutti i principii imponderabili dipendere dai diversi moti dell'etere universale, adotteremo il sistema dell'emissione, il quale ci somministra altresì un linguaggio più corrispondente agli effetti e più proprio a facilitarne il concepimento.

961. Stando solo a quanto i nostri sensi ordinariamente ci riferiscono, si dovrebbe dire che il calorico esistente nei corpi è libero d'abbandonare gli uni per passare negli altri. Così almeno sembra sia la cosa osservando che un corpo, riscaldato più degli altri, a poco a poco si mette alla temperatura comune; e non altrimenti

ci pare tutte le volte che lo poniamo al contatto d'altri più caldi di lui. Un esame però più attento e più intimo di altri fenomeni spontanei ed artificiali ha fatto conoscere che, oltre esistere nei corpi la sopra indicata porzione di calorico labile e transitoria, un'altra ve n'ha che serbano in se stessi ostinatamente nascosta e ritenuta, per così dire, da legami, che non possono essere sciolti se non da forze estranee ai corpi medesimi. Questi legami sono più o meno efficaci, ed a vincerli basta in alcuni casi una forza fisica o meccanica, ed in altri casi vi si vogliono azioni più intime che operino sulle parti costituenti. Il primo si chiama *calorico latente* e può essere con facilità espulso e riscosso dal corpo, in cui si nasconde, senza che questo cangi natura; il secondo appellasi *calorico combinato* e sta all'azione chimica lo svolgerlo dai corpi, i quali perdendo così uno dei loro principii costituenti cangiano di natura. Ad ogni modo, tanto questo che quello è piuttosto ai corpi rapito che da essi lasciato spontaneamente, come sembra a prima giunta facciano di quello dianzi indicato, il quale chiamasi *calorico libero*.

Diremo dunque che il calorico trovasi nei corpi in tre differenti stati, cioè *libero, latente* e *combinato*. Quando da un corpo si diffonde in altri contigui senza l'aiuto di forza estranea, chiamasi *calorico libero,* ed è quello che negli ordinari usi della vita e della società agisce spontaneamente sui corpi e sul termometro che serve a misurarlo, per cui fu detto anche *calorico sensibile*. Questo passaggio del calorico da un corpo in altri circostanti sembra prodotto da una specie d'attrazione od affinità della materia per quel fluido imponderabile. Dicesi *calorico latente* quella porzione che tutti i corpi hanno più o meno aderente alle loro molecole e che si separa mediante forze estranee ai corpi stessi. Questa specie di calorico non esige per manifestarsi una chimica azione dei corpi fra loro, ma basta solo cangiare con qualche forza meccanica o fisica la loro densità per riaverlo allo stato libero. Il calorico latente si può considerare esistente nei corpi come l'acqua in una spugna, ed è la causa di una rarefazione più o meno grande dei corpi medesimi, come avremo meglio occasione di riconoscere nel corso dei fatti che andremo esponendo. Finalmente quella porzione di calorico necessaria ad un corpo, perchè le sue molecole siano, per così dire, impastate assieme onde comporre il corpo stesso, dicesi *calorico combinato*, il quale non si rende sensibile senza l'aiuto di qualche forza chimica e senza cangiare la natura del corpo. Esso non dà segni della sua presenza, nè può quindi

manifestarsi nei corpi dove si contiene, senza che questi entrano in nuove combinazioni, in modo che la loro affinità pel calorico venga a scemare. Da questo calorico, che i corpi tengono chimicamente combinato , dipende l' alterazione di temperatura che si osserva nella formazione dei composti. Il calorico quindi considerato nei tre stati nominati può essere mescolato colle molecole e trovarsi in riposo o in movimento, ma sempre libero di portarsi in quegli spazii dove abbiavene difetto; può essere unito a queste molecole per adesione e produrre nelle medesime degli effetti corrispondenti; finalmente avere con esse un'unione intima ed essere chimicamente combinato. Si ha un'idea sensibile dei tre stati del calorico nei corpi somigliandolo all'acqua, colla quale unitamente alla farina si forma la pasta. Quando questa è molle, lascia libero quel liquido senza bisogno d'azione esterna ; quando ha una certa consistenza è d'uopo una forza comprimente per espellerne qualche goccia; quando infine è secca è d'uopo disfare la pasta e ridurla di nuovo in farina. Nel primo caso l'acqua presenta l'idea del calorico libero, nel secondo del latente e nel terzo del combinato.

Per dare un esempio reale della differenza fra il calorico latente e combinato, si prenda dell'acqua e la si riscaldi: questo liquido passa in vapore appropriandosi del calorico, il quale si dispone latente in quel fluido e si può rendere libero e sensibile condensandolo con qualche forza esterna in liquido. Ora se il vapore acqueo si fa transitare per un tubo di ferro arroventato, le sue particelle costituenti si decompongono unendosi l'ossigeno al ferro ed il resto sviluppandosi sotto forma di gas permanente (§. 727), dal quale non si può prendere il calorico combinato con una forza fisica o mecanica, essendone necessaria una chimica, che faccia cambiare natura al gas, che ne è il risultato.

Nel linguaggio comune si confonde il *calorico* col *fuoco*, mentre questi vocaboli esprimono due idee distinte. Il fuoco infatti si ritiene calorico splendente, ossia calorico associato al principio luminoso, dandosi parecchi esempi dove havvi emanazione di calorico senza luce, nel qual caso non si ha il fuoco. Molti metalli riscaldati ad un certo grado emettono calorico senza essere luminosi, e quando il riscaldamento è portato ad un maggior grado essi diventano incandescenti irradiando della luce ed in tal caso diconsi *infuocati*, mentre nell'atro sono semplicementi caldi. Nel corpo umano troviamo calorico senza luce, così nel caffè che be-

viamo, e in tutti i cibi caldi. Si presenta altresì il caso contrario di luce senza calore sensibile, come è di alcune sostanze fosforescenti (§. 882).

962. Quantunque l'esistenza del calorico come sostanza particolare sia avvolta nell'oscurità e nell'incertezza; tuttavolta sono certi un gran numero di fatti ed una moltitudine di fenomeni che ad esso si riferiscono e che hanno molto interesse per la scienza e per le arti. Nella coordinazione di tutti questi fatti e fenomeni si suole perciò prendere a direzione piuttosto gli effetti che la natura del calorico, che è ignota. Il calorico non solo riesce sensibile ai corpi organici, ma fa sentire i suoi effetti su quelli inorganici, come si è detto. Esposto al calorico, il ghiaccio si fonde e l'acqua, che ne risulta, si evaporizza e benanche si decompone; il ferro diventa luminoso e può altresì sotto un intenso calore cambiare stato e prendere differenti forme. Tutti questi fenomeni e moltissimi altri della stessa specie hanno necessariamente una causa e i nostri sensi e le nostre osservazioni ci avvertono che una tale causa è ciò che abbiamo denominato calorico. Vi ha una tale corrispondenza, una tale simultaneità fra le modificazioni, che succedono nei corpi, e le diverse sensazioni che proviamo, da farci credere di non essere ingannati nei nostri giudizi.

Il principal effetto del calorico è quello di contrastare l'attrazione molecolare dilatando dapprima i corpi e facendo loro benanche subire secondo le circostanze un cambiamento di stato (§. 8). I primi nostri studii perciò intorno al calorico saranno rivolti alla categoria di questi fatti, pei quali, acquistando delle cognizioni positive intorno a sì mirabile agente, potremo passare con maggior profitto ad esaminare il modo con cui si propaga e le leggi che esso segue nel diffondersi pei corpi e nello spazio, occupandosi infine a rintracciare i luoghi dove esso è annidato e cercando i mezzi per isvilupparlo e renderlo sensibile. Questo capitolo perciò sarà diviso in tre sezioni: la prima delle quali si aggirerà intorno al *calorico in riguardo alla coesione*; nella seconda si parlerà della *propagazione del calorico,* e la terza tratterà della *produzione del calorico.* Questa divisione ci metterà in grado di far tosto conoscere più circostanziatamente il termometro e le diverse specie del medesimo, di cui si è fatto un semplice cenno nella fisica generale (§. 134).

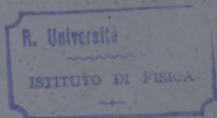
## SEZIONE I.

### *Del calorico in riguardo àlla coesione.*

963. La coesione è l'elemento della sodezza dei corpi, ed una tale forza viene incessantemente combattuta ed indebolita dall'azione del calorico, il quale tende ad allontanare l'una dall'altra le molecole, a distaccarle e a disgiungerle, per cui il corpo può passare dallo stato di solido a quello di liquido e dal liquido all'altro di aeriforme (§. 8). Siccome per altro ogni azione si spiega per gradi e non già per salti; così è che il calorico debilita gradatamente la forza di coesione e ne produce gli effetti corrispondenti. I primi gradi di calorico sopravenienti ad un corpo, in modo ch'ei prevalga alla forza di coesione, non fanno che discostare alcun poco le molecole del corpo, il quale, occupando così uno spazio maggiore coll'eguale quantità di materia, ha perduto della propria densità ossia si *è rarefatto* o *dilatato* (§. 133).

La proprietà del calorico di dilatare i corpi si estende tanto ai solidi (§. 432) che ai fluidi liquidi (§. 530) ed aeriformi (§. 610). Trattando dei fluidi aeriformi abbiamo mostrato la legge che seguono i gas ed i vapori nelle loro dilatazioni in virtù del calorico (§. 610 e seguenti); qui faremo conoscere come coll'esperienza si dimostra nella scuola l'azione del calorico sull'aria e su qualunque altro fluido elastico. Si prende un tubo di vetro del diametro di alcuni millimetri, una cui estremità termina in bolla, oppure è congiunto con un'ampolla. Tenendo la bolla all'insù, si sommerge l'estremità aperta del tubo nell'acqua e si riscalda la bolla alla fiamma della candela od al solo calore della mano: l'aria o il fluido dell'ampolla si dilata, spinge quella del tubo e la obbliga ad uscire, vedendosi essa infatti, secondo il grado di riscaldamento, farsi strada a traverso il liquido ed a comparire in gallozzole più o meno frequenti alla superficie del medesimo. Se poscia si lascia raffreddare l'aria nell'interno dell'ampolla, essa prende il primitivo volume e l'acqua, spinta dalla pressione esterna dell'atmosfera, sale nel tubo ed entra benanche nella bolla secondo la quantità d'aria espulsa colla dilatazione.

Quest'esperimento, mentre fa palese in un modo evidente la dilatazione dei fluidi aeriformi in virtù del calorico, c'insegna un modo facile d'introdurre i liquidi in recipienti a collo angustissimo e nei tubi e bulbi dei termometri. Col processo ordinario riuscirebbe ma-

lagevole, per non dire impossibile, una tale introduzione. Imperocchè le aperture angustissime sono otturate dal liquido, che si vuole introdurre, e non permettono all'aria di uscirne, impedendo questa l'entrata al liquido (§. 685).

Nel riscaldamento dell' aria contenuta in una vescica avvizza, questa si gonfia e dà prova della dilatazione di quel fluido. La *fontana di rarefazione* prova pure somigliante azione del calorico, nella quale il liquido zampilla per la dilatazione dell'aria sovrastante riscaldata e non per la diminuita pressione esterna dell' atmosfera (§. 686). Per l'esperienza nella scuola si riscalda l'aria immergendo la fontana di rarefazione nell'acqua bollente contenuta in un recipiente apposito.

964. Si è già altrove dimostrato che dal riscaldamento di qualche parte d'una massa d'aria o di qualunque altro fluido, se ne cambia il peso specifico e si disturba quindi l'equilibrio (§. 675). È per tal cagione che l'aria, riscaldandosi all'intorno del fornello di stufa, diventa specificamente meno pesante di quella circostante ed ascende verso la soffitta della stanza generandosi una corrente continua diretta verso l'alto e di altra che affluisce verso il basso per essere riscaldata alla sua volta. Questi moti, ascendente ed affluente, si possono rendere visibili spargendo dei piccolissimi corpi o del fumo galleggianti nell'aria. Si ravvisano pure quei moti osservando i piegamenti della fiamma d'una candela portata a differenti altezze vicino al fornello. Si è già detto che l'aria esterna, come meno calda e più pesante dell'interna, si precipita negli ambienti per le fessure inferiori degli usci e delle altre aperture ed esce per quelle superiori delle finestre, generandosi così un moto continuo dell'aria riscaldata dalla stufa. Succede all'inverso nell'estate quando l'aria esterna è più calda di quella interna.

Il movimento dell'aria prodotto dall'ineguale riscaldamento spiega, oltre i fenomeni naturali altrove narrati (§. 677), come in alcune caverne ed alcuni antri e luoghi circondati da monti si conservi il ghiaccio nell'estate, benchè siano situati molto al disotto del limite inferiore delle nevi perpetue. In generale questi luoghi sono bassi, aperti superiormente allargandosi verso il fondo e chiusi lateralmente da ogni parte. Uno di questi antri vedesi nel monte Codeno sulla sinistra riva del lago di Como. Durante l'inverno l'aria esterna, avendo minore temperatura di quella dell'antro e quindi maggiore densità, discende al fondo di esso rimovendo e rialzando quella che vi si trova. Rinnovandosi continuamente questo moto dell'aria più

fredda discendente e dell'altra meno fredda ascendente, le pareti e il fondo dell'antro vengono vieppiù raffreddate, e se l'inverno è rigido l'acqua contenuta in esso si congela. Al succedere poi della calda stagione, l'aria esteriore si rarefà, diventa per tal modo specificamente meno pesante dell' interna e non può più cadere, secondo le leggi della statica, verso il fondo dell'antro. Ne conseguita che la temperatura verso il fondo non viene cambiata che per quella tenuissima porzione di calorico transitante da molecola a molecola della massa d'aria od irradiata o riflessa dai corpi superiori. Non deve quindi far meraviglia se, alla profondità di quei luoghi, si conservi anche nell'estate il ghiaccio (1). Abbiamo altrove notato come le correnti d'aria, promosse per lo squilibrio di temperatura, mantengono fresche alcune grotte (§. 677), cambiano l'aria nelle sentine dei bastimenti, avvivano il fuoco nei fornelli e nei camini (§. 675); ed hanno servito in generale a ventilare i luoghi rinchiusi (§. 676).

965. La rarefazione dei liquidi in virtù del calorico si dimostra nelle scuole con un esperimento, il quale eccita la sorpresa in chi lo vede per la prima volta, avvenendo al principio, per una circostanza secondaria, un effetto contrario a quello che si attende. Si prende un tubo di vetro con un'ampolla, unita all'estremità come nel su descritto (§. 963), e si riempie l'ampolla e porzione del tubo di un liquido qualunque, segnandovi il punto dove giunge. S'immerge l'apparato verticalmente in un bagno d'acqua molto riscaldata: nei primi istanti il liquido si abbassa nel tubo, ma bentosto s'innalza sorpassando il punto della sua originaria elevazione. Accade dapprincipio l'abbassamento del liquido, perchè il vetro è il primo a provare l'azione del calore e ad essere dilatato, per cui l'ampolla aumenta in capacità; ma poscia, riscaldandosi anche il liquido più dilatabile del vetro, prevale quello a questo e la colonna nel tubo s'innalza. Quest'esperienza è stata la prima volta istituita dagli Academici del Cimento (2). Una boccia di vetro quindi, interamente riempiuta di vino e ben turata, si romperebbe portata da un ambiente in un altro di più elevata temperatura.

Abbiamo detto altrove che i liquidi hanno differente grado di dilatazione entro gli stessi limiti di temperatura, e si è riportato ad

(1) Negli *Annales de chimie et de physique* del 1822, t. XXI, pag. 113, si riportano alcuni altri luoghi dove si riscontra il fenomeno.

(2) *Saggi di naturali sperienze*, edizione altrove citata, pag. 124.

esempio i tre liquidi più conosciuti, alcoole, acqua e mercurio (§. 330). Si è in tal occasione eziandio notato che l'acqua ad un certo grado di calore acquista il massimo di densità, e che raffreddata al disotto del medesimo, invece di seguitare a costiparsi, si dilata di nuovo, come hanno pei primi scoperto gli Academici del Cimento (1). Essendo questo liquido universalmente sparso in natura, ed entrando esso come parte in molti fenomeni della scienza, è stata la sua dilatazione soggetto di parecchie indagini dei fisici, dalle quali si apprende l'irregolarità di dilatazione d'un tal liquido. Nella seguente tavola presentiamo la dilatazione dell'acqua di 10 in 10 gradi del termometro centesimale unitamente al grado di massima densità.

| TEMPERATURA dell'acqua | VOLUME | PESO specifico | TEMPERATURA dell'acqua | VOLUME | PESO specifico |
|---|---|---|---|---|---|
| 0°. | 1,00000000 | 1,0000000 | 30°. | 1,01229496 | 0,9878344 |
| 3,7 | 0,99992521 | 1,0000746 | 60 | 1,01773243 | 0,9825766 |
| 10 | 1,00019604 | 0,9998041 | 70 | 1,02396862 | 0,9765923 |
| 20 | 1,00160674 | 0,9983938 | 80 | 1,03092034 | 0,9700071 |
| 30 | 1,00414893 | 0,9958681 | 90 | 1,03850440 | 0,9629232 |
| 40 | 1,00773939 | 0,9923200 | 100 | 1,04663760 | 0,9554406 |

Per mostrare nella scuola che l'acqua raffreddata al disotto d'un certo grado di temperatura, invece di restringersi sotto minor volume, si dilata e che quindi vi ha un punto di massima densità al disopra di zero gradi del termometro, serve il seguente apparato: AB è un vaso cilindrico di lamina d'ottone (fig. 198), contornato alla sua metà superiore d'un vaso di maggior diametro CD, mentre verso il fondo tiene assicurato orizzontalmente il termometro *ef*. Il vaso AB è pieno d'acqua, la quale superiormente è a contatto d'una mescolanza frigorifera (neve e sal comune) contenuta nel vaso più grande CD. L'acqua, nella metà superiore del vaso AB, va perdendo calorico, che viene assorbito dalla mescolanza frigorifera, e nell'essere

(1) *Saggi di naturali esperienze*, edizione su citata, p. 77-104 e p. 107-114.

raffreddata si condensa sino al grado di temperatura che costituisce la sua massima densità. A misura che l'acqua diventa più densa cade pel suo maggior peso verso il fondo del vaso, portandosi a galla l'altra meno fredda secondo i principii dell'idrostatica (§. 579). Il termometro *ef*, venendo a contatto con acqua sempre più fredda, indica delle temperature decrescenti. Ma giunta l'acqua superiore al massimo di densità, ad una temperatura minore ritorna a dilatarsi e diminuisce in peso specifico; laonde non può più cadere verso il fondo del vaso AB e produrre la corrispondente diminuzione di calore sul termometro *ef*, il quale rimane perciò stazionario. Esplorata la temperatura dell'acqua nella metà superiore del vaso, si trova infatti ch' essa differisce di qualche frazione di grado dallo zero, quando il termometro *ef* seguita a segnare 4°, che è prossimamente il punto di massima densità. La temperatura del massimo di densità dell'acqua acquista una grande importanza per essere fondata su di essa l'unità del peso metrico (§. 44). Questa temperatura risultò, dalle sperienze allora istituite, di 4,4 gradi centesimali.

Si prenda un vaso con due termometri, l'uno inferiore e l'altro superiore, e si empisca d'acqua gelida a zero, esponendolo in un ambiente la cui temperatura sia di 18 in 20 gradi centesimali. Si osserva che il termometro verso il fondo è il primo ad indicare un aumento di calore nell'acqua , elevandosi a circa 4° avanti che il termometro superiore dia indizio di calore. Da ciò si deduce pure che l'acqua, riscaldata da zero sino a 4°, diventa più pesante cadendo al fondo del vaso. Poscia si eleva la temperatura anche del termometro superiore, rimanendo stazionario quello al fondo, e continua ad elevarsi più rapidamente del termometro inferiore; il che mostra che, al di sopra di 4°, l'acqua diventa meno pesante, rimanendo essa nella parte superiore del vaso.

È questa la ragione per cui il ghiaccio galleggia sull'acqua , che ha la temperatura di alcuni gradi sopra zero, ma se esso si pone in acqua distillata a 30° in 35°, cade al fondo del vaso, dove il liquido è contenuto. I mari dei paesi settentrionali presentano, per questo massimo di densità dell'acqua, il fenomeno contrario a quello che si osserva negli antri pieni d'aria (§. 964). Infatti quantunque quelle acque nei mesi della rigida stagione gelino alla superficie, non si trova però mai ghiaccio al fondo delle medesime (1).

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III. p. 29.

966. Si osservi che, nelle indagini intorno alla dilatazione dei liquidi in virtù del calorico, si seguono dei processi che partecipano di quelli per la dilatazione degli aeriformi, e che, oltre le correzioni pel cambiamento di capacità dei vasi dove si contengono, bisogna usare grande diligenza nello sperimentare, istituire molte prove con metodi differenti (§. 610 e 611), e prendere diverse precauzioni, agitando i liquidi onde rendere la temperatura uniforme in tutta la massa, giacchè le parti più riscaldate si portano, secondo le leggi della statica, superiormente in virtù del minor peso specifico che acquistano. Allorchè si riprende lo studio sullo stesso liquido, importa moltissimo di aver riguardo alla sua purezza e quindi al suo peso specifico; e se diversi autori sono giunti a risultamenti discordanti sulla dilatazione dello stesso liquido, ne può essere causa di non aver essi operato sopra fluidi egualmente puri. I metodi per istudiare la dilatazione dei liquidi a differenti temperature si riducono a tre: 1° il metodo areometrico, col quale si pesa, nel liquido a differenti temperature, una data sfera di vetro (§. 518); 2° il metodo delle bocce per le densità, cioè a riempiere una data boccia successivamente dello stesso liquido diversamente riscaldato ed a trovarne il peso (§. 532); 3° il metodo termometrico, il quale consiste a costruire con ciascun liquido termometri simili a quelli comuni (§.134), ed a confrontare le indicazioni di questi termometri a differenti temperature con un campione. Ciascuno di questi metodi ha i suoi vantaggi; e bisogna fare, non solo le correzioni delle variazioni dei vasi, ma anche dei corpi sommersi nei liquidi prodotte dalle differenti temperature col mezzo delle formole di dilatazione che diamo più avanti. La capacità dei vasi ad una data temperatura si misura osservando la quantità in peso di mercurio che essi contengono.

Si sono istituite molte indagini dai fisici intorno alla dilatazione dei liquidi impiegando l'uno o l'altro metodo, e da tutte emerge che hanno fra loro una dilatabilità differente. Questa conseguenza era da prevedersi, essendo soggette le loro molecole più o meno alla forza di coesione; quando invece i fluidi aeriformi presentano un coefficiente di dilatazione pressochè eguale, ed assolutamente eguale quando si confrontino le loro dilatazioni sotto deboli pressioni (§.611). Recentemente la dilatazione dei liquidi è stata soggetto di nuove indagini (1), dalle quali risulterebbe, in relazione ai fluidi aeriformi,

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxv, pag. 282, t. xxvi, pag. 41, e t. xxviii, pag. 37.

che, riducendo i liquidi secondo la loro natura a differenti gruppi, il più dilatabile di essi è quello la cui temperatura d'ebollizione è la più bassa.

Siccome i gradi di temperatura sono misurati colla dilatazione di qualche corpo; così era necessario stabilire il corpo che colle sue dilatazioni doveva servire di campione per quelle degli altri. I fluidi elastici, fra i quali l'aria, sono quelli che devono ritenersi, almeno entro certi limiti, d'uniforme dilatazione per gli eguali aumenti di calorico, non essendo essi soggetti alla forza di coesione. Infatto si è preso l'aria per corpo campione, colla quale si sono paragonati diversi liquidi: fra questi il mercurio è quello che, nelle ordinarie temperature, va d'accordo coll'aria, come vedremo parlando del miglior corpo per la costruzione del termometro.

967. I liquidi, riscaldati lateralmente o verso il fondo dei vasi come si usa comunemente, si rarefanno, diventano specificamente meno pesanti e concepiscono quei moti ascendenti e discendenti, di cui si è parlato (§. 579), somiglianti a quelli dell'aria (§. 964). Questi movimenti si possono vedere con qualche corpo in polvere intorbidando l'acqua nel vaso dove essa si riscalda. Il fenomeno però si può meglio rendere ostensibile nella scuola coll'esperienza seguente: due vasi metallici A, B sono collocati sopra una base comune (fig. 499) e posti in comunicazione fra loro verso il fondo ed alla sommità mediante due tubi orizzontali di vetro M, N. Si riempiono ambedue d'acqua alla temperatura ordinaria, e mediante la lampada L ad alcoole si riscalda il liquido contenuto in uno di essi A. A misura che il liquido al fondo di questo vaso si riscalda, diventa specificamente meno pesante e sale verso la sommità, nello stesso tempo l'acqua di B trascorre pel tubo M e va ad occupare il posto dell'acqua innalzatasi, dove si riscalda alla sua volta; per cui si genera una corrente nel tubo M dal vaso B all'altro A, mentre superiormente il liquido passa pel tubo N da A nel vaso B. Essendosi previamente intorbidata l'acqua con crusca o con segatura di legno, si vedono i movimenti in direzione opposta nei tubi di vetro M, N. I due termometri *a*, *b* indicano le temperature, che successivamente prende il liquido nei due vasi. In origine il tubo superiore dell'apparato era incurvato a guisa di sifone e pescava colle estremità nel liquido dei due vasi, verso le quali portava una chiavetta allo scopo di poter contenere il liquido di cui pur esso era riempiuto. Riscaldando l'acqua nel vaso ed aprendo poscia le chiavette, succedeva egualmente la circolazione dell'acqua pel tubo ricurvo, da cui l'apparato stesso prese il nome di *termosifone*.

Questi movimenti, prodotti nei liquidi inegualmente riscaldati, spiegano le correnti che si osservano nelle masse d'acqua dei laghi e dei mari e la loro temperatura a differenti profondità. S'intende eziandio come un pezzo di ghiaccio ritenuto al fondo del vaso pieno d'acqua, si fonde difficilmente quantunque il liquido sia superiormente riscaldato, perchè l'acqua, che inferiormente attornia il ghiaccio, si raffredda, acquista la massima densità e poscia, diminuendo ancora la sua temperatura, essa diventa di nuovo specificamente meno pesante, ma il suo peso riesce ancora maggiore di quella superiore riscaldata.

968. I fluidi squilibrati per l'inegual riscaldamento nella loro massa e ridotti in corrente secondo le leggi della statica, si sono impiegati a produrre un moderato calore negli ambienti a comodo degli uomini nella fredda stagione. Incominciamo dal metodo di *riscaldare a corrente d'aria*: a tal fine con lastre di ghisa si formano delle capacità, le quali si chiamano *casse d'aria*. Questi spazii comunicano dal lato superiore, per mezzo di larghe aperture e tubi, con l'aria interna della stanza, e dal lato inferiore con quella esterna giacente in un luogo più basso o al più a livello dell'ambiente della stanza. La cassa è disposta in modo che se ne riscaldano esternamente le pareti e per conseguenza si dilata l'aria in essa rinchiusa. Per questa elevazione di temperatura, l'aria della cassa esce per l'apertura superiore e si diffonde così riscaldata nell'ambiente; mentre per l'apertura inferiore entra nuov'aria esterna e viene ad occupare il posto lasciato dalla prima. In tal modo si genera una corrente d'aria calda, che entra nella stanza e nell'appartamento per appositi spiragli e vi si diffonde elevandone la temperatura.

Questo metodo di riscaldamento offre il vantaggio di non essere costretti ad ingombrare le stanze e gli appartamenti di stufe, colle quali se ne sfigura spesso la disposizione architettonica. Esso offre altresì il comodo di scaldare più stanze, contigue o disgiunte, con un solo fuoco. Anzi può offrire un vantaggio maggiore, facendo servire il fuoco stesso della cucina per riscaldare l'aria nelle casse. In tal caso il focolare del camino ha praticato al di sotto la cassa che costituisce il piano dove si accende il fuoco, onde per la lastra di ghisa si comunichi il calorico all'aria della cassa medesima. Questa mediante un canale comunica coll'atmosfera d'un luogo ventilato. Contro il frontone del camino sono disposti verticalmente parecchi tubi di ghisa, i quali, per la loro estremità inferiore, comunicano colla cassa sottoposta al focolare e per la superiore si riuniscono

tutti in una capacità chiusa da ogni parte, affinchè il fumo non si mescoli con l'aria riscaldata. La capacità mette capo ad un canale, pel quale l'aria rarefatta è guidata allo spiraglio che comunica colla stanza da essere riscaldata. La grandezza del canale e dello spiraglio come pure quella dell'apertura, per dove l'aria esterna affluisce nella cassa, sono proporzionali all'ampiezza dell'ambiente. Da alcune osservazioni fatte dal prof. Crivelli sull'aria calda, proveniente dalla cassa destinata a riscaldare un appartamento, risulta: 1° Da uno spiraglio, distante quasi 3 metri dalla cassa, l'aria sboccava calda in guisa che il termometro centesimale, presentato allo spiraglio medesimo, segnò in un minuto 100 gradi. 2° Da uno spiraglio simile distante poco meno di 15 metri dalla cassa, l'aria esplorata diede per risultamento gradi 82,5. 3° Da uno spiraglio simile, posto alla distanza di circa 21 metri, l'aria esplorata egualmente diede 51,25 gradi dello stesso termometro centesimale. Il fuoco non era straordinario e la temperatura d'ogni stanza risultava in misura media di circa gradi 13,75 (1). Importava di conoscere la temperatura dell'aria esterna e l'ampiezza di ciascuna stanza. Del resto aggiungiamo che, da uno spiraglio d'una piccola stufa di ferro del diametro di 33 centimetri, fornita di casse d'aria e due condotti e con un fuoco ordinario, l'aria sboccava dallo spiraglio con tal calore che abbiamo quasi sempre ottenuto l'accensione dei solfanelli e dell'esca.

969. Nel metodo di riscaldare a corrente d'aria non bisogna obliare che la stanza è piena di quel fluido e che quindi il flusso per lo spiraglio verrà impedito e sospeso od almeno ritardato, quando per le fessure delle finestre e degli usci non ne sorta in quantità sufficiente a mantenere lo squilibrio, ossia a lasciare forza alla corrente di vincere la resistenza che incontra allo spiraglio. Si pensò quindi di presentare una sortita all'aria men calda della stanza per lasciare adito ad entrare quella riscaldata, praticando un foro nel pavimento, per dove esce tant'aria raffreddata, che occupa gli strati inferiori, quanta ne affluisce dallo spiraglio in comunicazione coll'apparato calorifico.

Per accertarsi della corrente d'aria calda, che entra nella stanza per lo spiraglio e di quella che defluisce pel foro del pavimento, si applichi allo spiraglio una spugna imbevuta di qualche liquido odoroso facilmente evaporabile: l'aria che entra conduce con sè i vapori

(1) Si vegga l'opuscolo: *Miglioramenti apportati dagli artisti Leonardi e Botta all'apparecchio per trarre la seta dai bozzoli mediante il vapore, descritti ed illustrati dal* P. A. C. Milano 1819, pag. 67.

di quel liquido e spande ben presto l'odore per tutta la stanza. Che se la spugna così imbevuta si collochi al foro del pavimento, l'aria nel sortire porta con sè fuori dell'ambiente gli effluvii e non si manifesta verun odore.

Questo metodo di riscaldamento si può attivare facilmente con una stufa fatta di ghisa o di ferro qualunque. A tal fine si circonda ad una certa distanza la stufa d'una specie di capannuccia fabbricata di mattoni in un luogo qualunque dell'abitazione situato più basso o al più allo stesso livello dell'appartamento da essere riscaldato. Lo spazio compreso fra la stufa e la capannuccia comunica verso l'alto con un condotto che va a terminare nella stanza o nell'appartamento da riscaldarsi; mentre alcuni fori verso il basso lo mettono in comunicazione coll'aria esterna. Accendendo il fuoco nella stufa per la bocca che si prolunga al di fuori della capannuccia, l'aria all'intorno di essa si riscalda e ben presto si genera la corrente d'aria calda, che sbocca nella stanza per lo spiraglio, e d'aria esterna che entra ad occupare il posto di quella uscita per essere riscaldata alla sua volta. Si può prendere l'aria verso il pavimento della stanza per ricondurla a prendere nuovo calorico dalla stufa. In questo caso, quantunque si abbia economia di combustibile, si perde però il beneficio del cambiamento continuo dell'aria nella stanza per la nuova che vi affluisce dall'atmosfera. Si comprende da sè che con questa disposizione non è necessario il foro nel pavimento. Si potrebbero praticare delle aperture coi relativi condotti per servirsi dell'uno o dell'altro sistema secondo il bisogno. Per comprendere meglio questo metodo di riscaldamento si può osservare la fig. 200.

970. Il metodo di riscaldare a corrente d'aria può essere posto in pratica con vantaggio nelle chiese, negli ospedali, negli orfanotrofii, nelle prigioni, nei teatri, nelle biblioteche, nelle serre ed in altri simili luoghi dove convivono molte persone o trovansi oggetti facili a propagare il fuoco. Nelle biblioteche, in questi depositi dell'umano sapere, interessa più che in ogni altro stabilimento d'introdurvi il calore, senza che la sede del fuoco sia in esse collocata, onde togliere il pericolo dell'incendio.

Questo metodo di riscaldare è soggetto ad un grande inconveniente. L'aria, che sbocca dallo spiraglio, pel suo calore evapora facilmente l'acqua dei corpi umidi (§. 612). Se quindi si entra nell'ambiente in tal modo riscaldato cogli abiti inumiditi, quest'umidità evapora ben presto nell'aria e produce sul corpo della persona, su cui era depositata, un raffreddamento, per la ragione che un liquido passando in

vapore assorbe calorico, come mostreremo più avanti. Quest'evaporazione continuata sul corpo umano è causa del mal di capo, rende affaticati e dolorosi gli occhi e, se dura per qualche tempo, la macchina ne soffre. Allo scopo d'evitare queste spiacevoli sensazioni o almeno di molto diminuirle, bisogna tenere satura d'umidità la camera. È appunto per tal ragione che su queste stufe si colloca un vaso pieno d'acqua, affine di saturare l'aria di vapore, e questa precauzione era già in uso presso gli abitanti degli Apennini d'Italia avanti che fosse consigliata dalla scienza, come nota anche Murray (*Ency. Phil.* t. LXVIII, pag. 387).

Le correnti d'aria in tal modo promosse recano grandissimo vantaggio per asciugare le biancherie, la carta e simili di parecchi stabilimenti pubblici e privati. Si distendono quegli oggetti nella stanza, dove per alcuni spiragli entra da un lato l'aria riscaldata ed esce per altri spiragli dall'opposto. In alcuni spedali questa specie d'asciugatoi porta ogni anno un'ingente somma di risparmio.

971. Allorquando l'abitazione non offra un sito conveniente per costruire l'apparato onde riscaldare le stanze a corrente d'aria e si voglia adottare lo stesso metodo per una o due stanze contigue, può servire una stufa di non molta mole la quale, oltre irradiare calorico dalla sua superficie, somministra una corrente d'aria riscaldata. Nella costruzione di questi apparati, detti *stufe economiche*, si fa altresì percorrere al fumo un lungo canale che fa parecchi giri nell'interno della stufa, onde comunichi alla medesima il calorico libero di cui è fornito al suo nascimento, mettendolo così a contatto con una maggior superficie irradiante avanti di evadersi nell'atmosfera per la canna del camino. La stufa economica, a corrente d'aria e coi giri pel fumo, consiste in due casse orizzontali o due capacità, l'una superiore e l'altra inferiore al focolare. Una parete di quest'ultima serve di fondo al focolare, mentre una della prima gli serve di soffitta, ed è bene che ciascuna di esse sia formata di lastra di ghisa. In tal maniera il calorico, che si sviluppa dalle materie in combustione, viene inferiormente raccolto dall'aria contenuta nelle cassa sottoposta e superiormente dall'aria dell'altra cassa. Tubi di ghisa verticali, posti all'ingiro del focolare, mettono in comunicazione le due casse e ricevono il calorico che si diffonde lateralmente, pei quali si trasmette all'aria che in essi trascorre. La cassa inferiore comunica per mezzo di condotti coll'aria atmosferica oppure con quella della stanza stessa, secondo che si desidera la continua rinnovazione dell'aria o ricondurre quella che si raffredda a ricevere nuovo calorico. Il fumo poscia esce

dal focolare per un tubo, che attraversa lateralmente la cassa superiore e mette capo in un canale di forma parallelepipeda, che fa parecchi giri ascendenti e discendenti nel corpo della stufa. Alle pareti di questo canale il fumo comunica il calorico libero che possiede, e riscalda così da un lato un tubo pel quale si può far transitare l'aria e dall'opposto la superficie irradiante della stufa. Con una stufa costrutta su questi principii di 10 in 12 tubi di ghisa convenientemente ripartiti all'azione del fuoco nell'interno del focolare e in comunicazione colle due casse d'aria, si possono riscaldare, negli inverni ordinarii del clima dell'Alta Italia, due in tre camere contigue, occupando lo spazio di 90 centimetri in lunghezza, 60 in larghezza coll'altezza di metri 1,20 in 1,30. Alle volte il fumo, avanti di gettarsi nella canna del camino, percorre un lungo tubo piegato più volte parallelamente a se stesso al di fuori della stufa per depositare sulle pareti di lui il calorico rimastogli e così aumentare la superficie riscaldante.

Si fanno altresì stufe somiglianti formate tutte di lastre di ghisa che offrono il vantaggio di poterne facilmente sconnettere le parti per trasportarle e riunirle in altra abitazione. Hanno però l'inconveniente di produrre cangiamenti troppo subitanei di temperatura nell'ambiente, i quali riescono nocevoli alle persone di debole costituzione. Inoltre presentano il pericolo ai piccoli fanciulli di facilmente scottarsi. Esse convengono soltanto per quei luoghi, che devono essere riscaldati soltanto per alcune ore del giorno o della notte, come biblioteche, teatri e simili, e dove si mantiene continuamente il fuoco.

Le stufe in generale recano parecchi vantaggi in confronto dei camini: oltre l'economia del combustibile, producono una temperatura uniforme nell'ambiente e non sono quindi causa d'affezioni reumatiche. Presentano altresì alle numerose famiglie il comodo di tenere lontano ed assicurare i fanciulli dal pericolo del fuoco, e quando sono costrutte a dovere ricambiano l'aria nelle stanze. Per avere un'idea della costruzione della stufa economica, si getti l'occhio sulla figura 201, dove AB rappresenta la pianta del focolare coi tubi di ghisa all'intorno, che mettono in comunicazione le due casse d'aria. La sezione longitudinale dell'alzata vedesi in CD, dove *m*, *n* sono le casse d'aria, *m* l'inferiore ed *n* la superiore, e *t* uno dei tubi con cui sono posti fra loro in comunicazione. L'aria entra nella cassa *m* per le aperture *a*, *a*, ivi incomincia ad essere riscaldata, s'impossessa ancor più di calorico nel transitare pei tubi *t* e passare nella cassa *n*, donde, dopo aver ricevuto ulteriore riscaldamento, sbocca infuocata dagli spiragli *s*, *s* e si diffonde nella stanza. Il fumo dal focolare F

passa nel primo canale *c* pel condotto *f* che attraversa la cassa superiore, e dopo averlo percorso entra nel seguente *d*, e così da questo nell'altro *e* ed infine nell'ultimo *h*, da dove per l'apertura si getta nella canna del camino.

972. I camini alla Franklin detti anche *camini svedesi* sono somiglianti ai comuni con l'aggiunta di casse d'aria, che comprendono il frontone e le pareti laterali del focolare. L'aria affluisce dalla stanza per due fori situati verso il pavimento, è riscaldata nelle casse fra loro comunicanti, e ritorna nella stanza per due spiragli fatti superiormente. Si trae profitto dal fumo facendolo circolare attorno alla cassa di fronte, sulle pareti della quale deposita il calorico libero, che contribuisce a riscaldare l'aria in essa contenuta. La fig. 202 rappresenta la sezione verticale d'un camino alla Franklin, essendo *a* il piano superiore, *b* il profilo della lastra laterale, *c* il focolare, *d* la cassa d'aria del centro che comunica colle laterali, *e* lo spiraglio, *f* il condotto dell'aria che entra nella cassa e serve anche ad alimentare il fuoco per mezzo dello spiraglio *g*; *h* la divisione di questo condotto da quello del fumo, *i* il passaggio pel fumo il quale nel discendere riscalda dal lato interno la cassa e poscia sale nella canna. Per raccogliere maggior calorico si può costruire una cassa anche superiormente al focolare al di sotto del piano *a* e in comunicazione colle altre capacità.

Con poco dispendio i camini comuni si possono rivestire all'intorno di casse d'aria per attivare una corrente d'aria riscaldata nella stanza, dove sono situati, o in qualche contigua; il che si comprenderà facilmente osservando la sezione rappresentata nella figura 203, la quale, dopo ciò che si disse precedentemente, non ha bisogno di dichiarazione.

973. Le correnti d'acqua (§. 967) promosse in maniera somigliante a quelle d'aria servono pure a riscaldare gli ambienti e le stanze. Una caldaia è posta sopra un fornello nel sito più basso dell'abitazione e chiusa da una specie di volta, dalla cui sommità parte un tubo di ferro o di rame, che s'innalza ed entra negli ambienti da essere riscaldati. Questo tubo, in un'apposita cavità del pavimento o lungo il muro, fa parecchi giri nella stanza, dopo cui viene a mettere capo verso il fondo della caldaia. L'intero tubo e la caldaia sono riempiuti d'acqua, essendovi soltanto nel primo alcuni rigonfiamenti per lasciar spazio alla dilatazione del liquido. Applicando il calore sotto alla caldaia incomincia il movimento del liquido: quello riscaldato ascende alla sommità, percorre l'intiera lunghezza del tubo, vi

comunica il calorico di cui è rivestito e ritorna sul fondo della caldaia per subire un nuovo riscaldamento e ricominciare il suo corso. In tal maniera si sono costrutte le *stufe a corrente d'acqua*, le quali sono *a bassa* e *ad alta pressione*, il riscaldamento succede pel calorico che irradia dai tubi e che è loro comunicato dall'acqua. Nelle prime la temperatura dell'acqua non sorpassa il punto dell'ebollizione, nelle altre il calore viene portato ad un grado molto più elevato. In quest'ultimo caso i tubi sono di ferro, e il tubo stesso si ripiega più volte a guisa di serpentino nel fornello dove abbrucia il combustibile, e fa le veci della caldaia. Questo sistema di riscaldamento non è soggetto all'inconveniente che presenta l'aria (§. 970), ed è stato posto in opera in parecchi stabilimenti pubblici e privati di Torino e di Milano e probabilmente di altre città d'Italia.

Il riscaldamento a corrente d'acqua si è trovato utile per innalzare al grado di calore conveniente la stufa per far nascere i bigatti. Si sa che la nascita del baco da seta si ottiene esponendo la semente ad un grado moderato di calore, il quale deve essere regolato in maniera che non si elevi al di là del punto da impedire la nascita stessa e consumare la semente; ora la temperatura che si ottiene col termosifone soddisfa benissimo a tale scopo (1).

974. La dilatazione dei solidi si dimostra nella scuola in diverse maniere. Gli Academici del Cimento furono i primi a sottoporre all'esperienza la dilatazione dei solidi pel calorico (2): essi accordavano ad un dato tuono la corda di minugia *ab* attaccata all'estremità di una grossa staffa del corpo solido (fig. 204), e ne riscaldavano poscia la superficie convessa S. Se il corpo non era molto atto a condurre il calorico, la dilatazione aveva luogo dapprima superiormente e le estremità A, B si avvicinavano, la corda si allentava e dava un suono più basso (§. 704). Giunto poscia il calorico a dilatare la parte concava della staffa, le due estremità A, B si allontanavano l'una dall'altra e producevano nella corda una maggior tensione con un suono più acuto. Attaccavano eziandio alla corda *ab* un filo cui era appesa una piccola sfera di piombo, che toccava appena un piano sottoposto. Nell'allentamento della corda di minugia, la sfera veniva a riposare interamente sul piano; ed a misura che il calorico dilatava tutta la

(1) Intorno all'applicazione del termosifone per riscaldare a bassa pressione, si può consultare l'opuscolo: *Costruzione ed usi del termosifone*, del prof. Saint-Martin. Torino 1839.

(2) *Saggi di naturali sperienze*, l'edizione altre volte citata, pag. 123.

massa dell'incurvatura della staffa, la corda era maggiormente stirata e sollevava la sfera dal piano. Nelle scuole si dimostra la dilatazione dei solidi in virtù del calorico con una sfera di metallo, la quale alla temperatura ordinaria passa esattamente per un anello della stessa materia, mentre dopo essere riscaldata non vi passa più; dal che si deduce il suo aumento di volume o la sua dilatazione. Riprendendo la sfera la primitiva temperatura entra ancora nell'anello e l'attraversa dall'una all'altra parte.Questo semplicissimo strumento indica soltanto, senza misurare, la dilatazione del corpo cimentato e si chiama *piroscopio annulare*. Presso alcuni gabinetti di fisica il piroscopio annulare consiste in un cono troncato di metallo, il quale si introduce nell'anello: alla temperatura ordinaria, il cono entra in cosiffatta guisa nell'anello che la base del primo e la faccia superiore del secondo si coincidono e formano un solo piano. Riscaldando il cono ed introdotto nell'anello, non giunge più al segno di prima e rimane colla sua base sporgente, la quale non si trova così nel medesimo piano della faccia dell'anello. La dilatazione longitudinale del corpo a tronco di cono si dimostra osservando che, mentre prima entrava esattamente nell'intervallo compreso fra due appendici rilevate congiunte alle estremità di una verga, dopo il riscaldamento il tronco di cono è divenuto più lungo e non capisce più in quell'intervallo.

Il *pirometro meccanico* mostra meglio il progresso della dilatazione in una verga solida a misura che aumenta il calore. Quest'apparato si riduce ad una verga metallica, la quale, essendo fissata per un estremo ad un punto inamovibile, offre le sue dilatazioni dall'altro estremo. Questo è a contatto con un'asticella quadrangolare a sega, la quale, nel dilatarsi della verga, è sospinta nel verso della dilatazione, ed imboccando i suoi denti con quelli d'un rocchetto lo fa rivolgere attorno al suo asse unitamente ad un indice che scorre sopra un cerchio graduato. Tenendo costante l'azione del calorico sopra eguali verghe fatte di diverse materie, lo che si ottiene facilmente tenendole immerse nell'acqua alla temperatura dell'acqua bollente, si viene a riconoscere il rapporto di dilatazione delle verghe medesime. Questo strumento serve già a far conoscere che i solidi e gli stessi metalli hanno un differente grado di dilatazione. L'acciaio, e l'ottone, per es., si dilatano fra gli stessi limiti di temperatura nel rapporto di 33 a 55. Per mostrare questa differenza di dilatazione nell'acciaio e nell'ottone si ha nelle scuole un apparato apposito, consistente in un basamento di legno, su cui sono assicurate fra loro parallele due traverse di me-

tallo, fra le quali si adattano in apposite cavità due verghe quadrangolari d'eguale lunghezza e grossezza, l'una d'acciaio e l'altra d'ottone. Riscaldate ad una data temperatura, si trova che, quando la verga d'acciaio entra ancora nell'intervallo, quella d'ottone non vi capisce più; il che mostra la maggiore sua dilatazione. Questa disparità si riscontra in quasi tutti i solidi, la quale, se si palesa dall'uno all'altro liquido per l'influenza dell'attrazione molecolare (§.966), deve riuscire maggiore nei solidi come più soggetti al dominio di quell'attrazione, come si è altrove notato (§. 432) e come in seguito meglio apprenderemo.

975. Per avere la misura esatta di dilatazione dei solidi a differenti gradi di calore, i precedenti metodi non valgono a rigore, e nelle indagini di questa specie si sono adoperati diversi processi, per tenere conto di tutte le circostanze che influiscono a mostrare una dilatazione apparente diversa dalla reale e farvi quindi le necessarie correzioni. Tutti i metodi immaginati dai fisici, per istabilire in diversi casi particolari la dilatazione e la contrazione dei solidi prodotte da variazioni di temperatura, hanno condotto alla conseguenza che esse non solo differiscono da un solido all'altro, ma non succedono uniformemente pei diversi gradi di temperatura, dipendendo tali irregolarità dalla diversa coesione delle molecole di ciascuno dei medesimi. Alcuni solidi presentano altresì, come i liquidi, delle anomalie dipendenti dalla loro differente struttura e natura. Queste anomalie si manifestano in certi cristalli, i quali mostrano differente dilatazione in una dimensione in confronto d'un'altra, quantunque siano uniformemente riscaldati in tutta la loro massa. Mitscherlich infatti ha osservato che quei corpi subiscono delle variazioni nei loro angoli in causa della temperatura, il che deve essere il risultato d'un'ineguaglianza di dilatazione nella direzione dei loro assi; giacchè queste variazioni non avvengono che nelle forme, le quali non si riferiscono a qualcheduno dei poliedri regolari della geometria, che hanno tutti i loro assi eguali. Egli se ne assicurò anche con esperienze dirette, e i risultati di lui vennero confermati da altri, essendosi trovato, per es., che il piccolo asse dello spato calcare si allunga di più relativamente alle altre diagonali. Siccome la posizione relativa degli assi di quei cristalli è connessa colla doppia rifrazione (§. 835); così al variare la loro temperatura deve subire del pari qualche cambiamento la loro facoltà bifrangente ossia la distanza delle due imagini, come appunto è stato confermato dall'esperienza.

Si è cercato se la diversa dilatabilità, che presentano i corpi solidi,

abbia qualche relazione colla loro rispettiva fusibilità, dipendendo ambedue le proprietà dal rapporto della loro coesione col grado di calore, di cui sono investiti. Si è trovato infatti che i metalli, per es., quanto più sono facili ad essere fusi tanto più essi offrono maggior dilatabilità per lo stesso aumento di temperatura. Il platino, che è il metallo più difficilmente fusibile ossia che richiede il maggior grado di calore per essere liquefatto, offre eziandio la minore dilatabilità degli altri; e così la dilatabilità del ferro è minore di quella del rame e dell'argento, metalli più facilmente fusibili, ed ancor più di quella del piombo e dello stagno la cui fusibilità è molto più considerevole. Questa corrispondenza però non è generale, e per alcuni metalli pare che vi abbia influenza qualche altra qualità particolare, per es., quella dello stato latente che prende il calorico. Lo zinco è più dilatabile del piombo e dello stagno, sebbene sia meno fusibile di questi due metalli. Inoltre si è trovato che in generale la dilatazione per ogni grado del termometro si è riscontrata crescente alle temperature più elevate.

976. Allorquando un solido, dopo essere stato riscaldato, si lascia immerso in un ambiente alla temperatura ordinaria, esso si raffredda e tende a riprendere il primitivo volume ossia a contrarsi. Questa contrazione succede con più o meno rapidità secondo che il solido lascia libero con più o meno facilità il calorico per cui ha subito la dilatazione. Se il corpo è cattivo conduttore, la perdita di calorico può essere molto lenta e la contrazione succedere con pari lentezza. Questo fenomeno si riscontra nel vetro, che è cattivo conduttore del calorico, come vedremo più avanti, ed è stato osservato la prima volta da Bellani nei bulbi dei termometri (1). Il tubo di vetro si sottopone ad un gran calore per fonderlo all'estremità dove si soffia il bulbo; nel lasciare il calorico, di cui è stato investito nella fusione, richiede un certo tempo, per cui la coesione non avvicina le molecole che a misura sono abbandonate dal calorico, e il bulbo, all'atto che si segna l'estremo inferiore della scala, conserva una maggior capacità di quella voluta per tale temperatura, per cui dentro quel tempo il punto estremo stesso si trova avere una posizione più elevata della vera. Di questo fenomeno la maggioranza dei fisici con Bellani attribuiscono la cagione alla lenta contrazione

(1) Si vegga la memoria di lui: *Dell'incertezza nel determinare il punto del ghiaccio sui termometri derivante da una nuova imperfezione scoperta sui medesimi*; nel *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli. Pavia 1808, pag. 429.

del vetro, quantunque alcuni abbiano voluto farlo dipendere dalla pressione dell'aria esterna. Qualunque però sia la causa di questa lenta contrazione in tal caso, il fatto però non lascia d'essere men vero, e noi l'avvertiamo perchè ci sarà utile quanto prima per la costruzione di termometri esatti (1).

Si danno altresì alcuni corpi congiunti con liquidi, che passano facilmente in vapore sotto l'azione del calorico. Questi corpi presentano un'altra anomalia dipendente dal loro stato particolare, ed esposti ad un maggior calore, invece di accrescere, diminuiscono di volume in causa appunto della sostanza che vanno perdendo per evaporazione. Di tale specie è l'argilla, per l'acqua che tiene congiunta e che si dissipa in vapore sotto l'azione del calorico. Facciamo notare ciò perchè tale materia si è applicata alla costruzione d'uno strumento destinato alla misura dei calori i più intensi, di cui parleremo nel corso di questa sezione. Le sostanze animali e vegetali poi si alterano nella loro natura chimica sotto l'azione del fuoco, per cui presentano pure delle anomalie alla legge di dilatazione in virtù del calorico.

977. L'allungamento dei metalli in causa del calorico c'istruisce come possono essere alterate le lunghezze delle misure lineari, e principalmente quelle che servono di campione, quando non si prendano alla medesima temperatura, cui furono costrutte. Lo stesso si dica delle misure geodetiche, che si eseguiscono d'ordinario con catene di lunghezza determinata ad una temperatura data, le quali variano secondo i gradi di calore. In ogni caso bisogna fare le opportune correzioni ; lo stesso si dica dei fluidi liquidi ed aeriformi nelle indagini della scienza e principalmente nel valutare la loro dilatazione nei diversi processi impiegati. A tale scopo servono le formole di dilatazione, di cui qui importa fare qualche cenno.

La dilatazione dei corpi può essere considerata sotto tre aspetti differenti: 1° quando si osserva in una sola dimensione, allora si ha la *dilatazione lineare*; 2° quando si considera in una sua faccia, la *dilatazione superficiale*; 3° infine quando si ha riguardo a tutte tre le dimensioni, la *dilatazione di volume* o *cubica*.

Le tre specie di dilatazione hanno fra loro dei rapporti definiti, coi quali, data una, si possono facilmente avere le altre due. Nei fluidi si considera d'ordinario la dilatazione di volume (§. 610) e nei solidi

(1) Sulla dilatazione del vetro si possono vedere i risultati ottenuti da Regnault: *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VIII, pag. 102.

la lineare. Siano $x$, $y$, $z$ le tre dimensioni d'un dato corpo, ed $\frac{1}{r}$ il rapporto della dilatazione lineare per un grado del termometro centesimale. Le tre dimensioni per l'aumento d'un grado di temperatura diventeranno rispettivamente $x + \frac{x}{r}$, $y + \frac{y}{r}$, $z + \frac{z}{r}$. La grandezza superficiale, dopo essere dilatata, sarà rappresentata dal prodotto $xy + \frac{2xy}{r} + \frac{xy}{r2}$ delle prime due quantità, e quella di volume dal prodotto $xyz + \frac{3xyz}{r} + \frac{3xyz}{r2} + \frac{xyz}{r3}$ di tutte tre le dimensioni. Siccome $r$ è un numero molto grande cioè dal 500 mila al 50 mila; così le espressioni frazionarie, che hanno per denominatore la seconda e molto più la terza potenza di $r$, diventano piccolissime e negligentabili senza errore sensibile, e rimane quindi per la dilatazione superficiale $xy\left(1+\frac{2}{r}\right)$ e per quella di volume $xyz\left(1+\frac{3}{r}\right)$. Si deduce quindi che, per avere la dilatazione superficiale, basta prendere il doppio di quella lineare $\frac{1}{r}$ e per la dilatazione cubica il triplo della lineare medesima.

Quei corpi, che si dilatano uniformemente almeno dentro determinati limiti, avranno per $n$ gradi la dilatazione lineare $\frac{n}{r}$, e quindi la superficiale risulterà di $\frac{2n}{r}$ e la cubica di $\frac{3n}{r}$. Ciò si verifica prossimamente nei metalli, che si assumono a moderate temperature non molto vicine al punto della loro fusione, mentre in prossimità di questo punto l'azione del calorico acquista tale preponderanza sulla coesione che le dilatazioni prendono un corso più rapido delle temperature. Se, per es. un solido per un grado di temperatura si dilati di $\frac{1}{10000}$ della sua dimensione lineare, la dilatazione per 6 gradi in ogni dimensione sarà di $\frac{6}{10000}$, quella di ogni superficie di $\frac{12}{10000}$ e l'altra cubica $\frac{18}{10000}$ del primitivo volume. Si comprende da sè che queste regole non sono applicabili ai cristalli su mentovati ed agli altri solidi, che non si dilatano regolarmente (§. 975).

Conoscendo la relazione fra la dilatazione lineare, superficiale e cubica alla medesima temperatura, si possono ottenere dei rapporti fra le dilatazioni della stessa specie a differenti temperature. Si rappresenti con $d$ la dilatazione lineare d'un corpo per ogni grado termometrico, la quale è sempre una frazione, con $D^0$ la lunghezza di una dimensione a zero gradi del termometro e con $D^t$ quella a $t$ gradi. Ritenendo che la dilatazione sia uniforme, si può tra le quattro quantità $d$, $D^0$, $D^t$, $t$ avere una relazione, per mezzo della quale, conosciute tre, riesce facile di trovare l'altra quantità. Se una dimensione a zero gradi è 1, essa diventa $1+dt$ a $t$ gradi, ed è chiaro che le grandezze $D^0$, $D^t$ saranno proporzionali alle lunghezze corrispondenti dell'unità alle stesse temperature, sarà cioè $D^0 : D^t :: 1 : 1+dt$, da cui si deduce $D^t = D^0\ (1+dt)$. Il che significa che *si ottiene la lunghezza d'un corpo alla temperatura* t *moltiplicando la sua lunghezza a zero per l'unità accresciuta di* t *volte la dilatazione lineare per ogni grado*. Siccome si ricava eziandio $D^0 = \frac{D^t}{1+dt}$; così *si ha la lunghezza a zero dividendo quella alla temperatura* t *per l'unità accresciuta di* t *volte il rapporto di dilatazione lineare.* Si ricava inoltre dalla stessa proporzione $t = \frac{D^t - D^0}{dD^0}$ come pure $d = \frac{D^t - D^0}{tD^0}$. La prima delle quali serve a *trovare la temperatura d'un corpo per mezzo delle sue lunghezze a zero e al grado di calore che si cerca e del rapporto di dilatazione lineare.* Dalla seconda si apprende che *il rapporto lineare di dilatazione eguaglia la differenza fra le due lunghezze a* t *ed a zero gradi divisa per* t *volte la lunghezza a zero.*

Si presenta talvolta il bisogno di confrontare le lunghezze o le dimensioni lineari della stessa materia a differenti temperature indipendentemente da quella a zero. Rappresentiamo pertanto con $D^t$ e $D^\theta$ le lunghezze alle due differenti temperature, e con $d$ il rapporto lineare. Si avrà $D^t : D^\theta :: 1+dt : 1+d\theta$, da cui si ricava $D^\theta = D^t . \frac{1+d\theta}{1+dt}$.

Si ottengono in modo somigliante le formole per le dilatazioni superficiale e cubica. Siccome le valutazioni e le correzioni per la dilatazione del volume sono necessarie pei fluidi; così daremo le relazioni spettanti alla dilatazione cubica. Chiamando con $c$ il rapporto della dilatazione cubica per un grado del termometro centesimale, il quale si trova facilmente, come si è mostrato, conosciuto quello lineare, ed inoltre $V^0$, $V^t$ i rispettivi volumi del corpo a zero ed alla

temperatura $t$, si avrà come precedentemente $V^o : V^t :: 1 : 1+ct$, da cui si ricavano, come per la dilatazione lineare, le quattro equazioni $V^t = V^o(1+ct)$; $V^o = \frac{v^t}{1+ct}$; $t = \frac{V^t - V^o}{cV^o}$; $c = \frac{V^t - V^o}{tV^o}$. Da queste equazioni si deducono per la dilatazione cubica le stesse conseguenze che si sono dedotte precedentemente per quella lineare. Si trova egualmente pei volumi a differenti temperature, indipendentemente da quello a zero, la relazione $V^\theta = V^t . \frac{1+c\theta}{1+ct}$.

978. Abbiamo altrove mostrato che le variazioni di temperatura, producendo dei cambiamenti nella lunghezza della verga, disturbano la regolarità del moto dei pendoli, e che si è riparato a tale inconveniente coi *pendoli a compensazione* (§. 405), dirigendo la dilatazione in modo che i risultamenti in un verso siano bilanciati dagli effetti prodotti in verso contrario. Furono imaginati diversi sistemi di compensazione applicati al pendolo, e parleremo di quelli che si riconobbero i più idonei allo scopo e generalmente i più adottati.

Il sistema a compensazione più comunemente adottato è quello del *pendolo a telaio*. Esso si compone della verga d'acciaio o di ferro, che porta la lente O (fig. 205), formata di due pezzi *cd*, *ab*. Il pezzo *cd* è fisso ad un telaio formato di quattro verghe, due orizzontali *ef*, *hg* e le altre due verticali *eh*, *fg* fatte pure d'acciaio o di ferro. L'altro pezzo *ab* è attaccato ad una piccola traversa *mn* portata da due verghe di zinco o d'ottone giacenti sulla verga orizzontale *hg* del telaio e passa liberamente pel foro praticato nella verga medesima a sostenere la lente O del pendolo. Avvenendo un aumento di temperatura, la lente O si abbassa in causa dell'allungamento delle verghe d'acciaio verticali componenti il telaio e di quello della verga *ab*, ma contemporaneamente s'innalza in virtù della dilatazione delle verghe verticali di zinco. Quando alle verghe metalliche si diano delle lunghezze che siano in ragione inversa delle loro dilatazioni, si avrà un giusto compenso, e la lente e per consegnenza il centro d'oscillazione conserverà la stessa distanza da quello di sospensione, la lunghezza del pendolo rimarrà costante e quindi le sue oscillazioni saranno ancora isocrone a malgrado della variazione della temperatura (§. 399).

Avanti il pendolo a telaio si era imaginato un altro metodo di compensazione, il quale consiste nel dar alla lente la forma di vaso cilindrico, che si riempie di mercurio. Il centro d'oscillazione cade sull'asse del cilindro, e venendo la verga a dilatarsi o contrarsi per un

aumento od una diminuzione di temperatura, si abbasserebbe o si innalzerebbe quel centro; ma d'altra parte, dilatandosi o contraendosi contemporaneamente la massa di mercurio, questo liquido s'innalza o s'abbassa nel vaso e fa prendere movimento contrario al centro d'oscillazione. Se quindi si regola in maniera la verga e l'altezza del mercurio nel vaso, che le variazioni, in contraria direzione, del centro d'oscillazione si compensino, il pendolo conserverà la medesima lunghezza e le sue oscillazioni saranno sempre isocrone a malgrado dei cambiamenti di temperatura. Il *pendolo a mercurio* è in uso presso alcuni privati, ma negli stabilimenti, dove si richiede una rigorosa eguaglianza nelle oscillazioni, come le specole astronomiche, i gabinetti di fisica e simili, si vede comunemente usato il pendolo a telaio.

979. Un altro sistema semplice ed ingegnoso è quello a *lamina compensatrice,* il quale, se si trova di rado applicato al pendolo, si adopera però d'ordinario per rendere regolari i movimenti dei cronometri e degli orologi da tasca e per altri usi. Si abbiano due laminette d'eguali dimensioni e di materie dotate di differente dilatabilità, l'una, per es., d'acciaio e l'altra di zinco, e si sovrappongano e si uniscano stabilmente in un sistema mediante un conveniente numero di viti o di chiodetti ribaditi. Essendo posto questo sistema a temperatura maggiore, i due metalli si dilatano contemporaneamente: ma la laminetta di zinco, come più dilatabile di quella d'acciaio, incurva il sistema rendendolo convesso dal suo lato. Ad una temperatura minore lo zinco subisce una maggiore contrazione dell'acciaio e l'incurvamento avviene dal lato opposto. Gli stessi fenomeni di piegamento si hanno nel sistema se le due laminette sono congiunte con qualche saldatura metallica di dilatabilità media fra l'acciaio e lo zinco. Il sistema così composto chiamasi *lamina compensatrice.*

Affine di comprendere come la lamina compensatrice sia stata applicata al pendolo, rammentiamo che la lunghezza del pendolo dipende dalla situazione del centro d'oscillazione (§. 393), il quale è determinato non solo dal complesso delle masse che oscillano ma dalle posizioni che esse hanno o prendono per rispetto al punto di sospensione (§. 407). Si abbia ora il pendolo ABC, la cui lente è O ed MBN una lamina compensatrice infilata ed assicurata normalmente alla verga del pendolo all'altezza conveniente, che si determina coll'esperienza (fig. 206). La lamina compensatrice MN è disposta collo zinco o col metallo più dilatabile verso il basso, ed è fornita verso le sue estremità di due globetti metallici M, N congiunti a vite per portarli a più o meno distanza dalla verga del pendolo. Alla temperatura

ordinaria di costruzione, la lamina compensatrice è rettilinea e le oscillazioni del pendolo sono isocrone. Aumentando i gradi di calore, la lamina s'incurva verso l'alto e prende la forma MBN per la maggior dilatazione dello zinco posto inferiormente. Con questo incurvamento s'innalzano i globetti M, N e le corrispondenti parti della lamina, e si solleva quindi il centro d'oscillazione del pendolo. D'altra parte questo centro si è abbassato per l'allungamento della verga ABC; e se l'alzamento prodotto dal sistema delle lamine eguaglia l'abbassamento avvenuto in causa dell'allungamento della verga, succederà un'esatta compensazione nei due effetti contrarii e la lunghezza del pendolo rimarrà costante a malgrado dell'accrescimento di calore. Avvenendo una diminuzione di temperatura, la lamina compensatrice s'incurva in verso contrario e si abbassano i globetti M', N', abbassandosi del pari il centro d'oscillazione; ma d'altra parte la verga ABC si è raccorciata ed ha elevato il centro medesimo. Se quindi i due effetti contrarii si eguagliano, il pendolo conserverà ancora la medesima lunghezza e le sue oscillazioni seguiranno ad essere isocrone a malgrado della diminuita temperatura. La lunghezza della lamina compensatrice si determina coll'esperienza ed i globetti M, N si allontanano o si avvicinano per giungere ad ottenere nelle ultime prove l'esatto compenso.

Colle lamine compensatrici si correggono e si rendono uniformi nei loro moti gli orologi da tasca, mossi da una molla a spira, i quali, per le variazioni di tensione di questa molla prodotta dai cambiamenti di temperatura, accelerano o ritardano nei loro movimenti secondo che la temperatura è più fredda o più calda. Il bilanciere in quegli orologi fa lo stesso ufficio del volante nelle machine dell'industria (§. 486), e ad esso, rappresentato in ABC, si applicano le due lamine compensatrici PM, QN in due punti diametralmente opposti (fig. 207), le quali sono incurvate parallelamente alla periferia del bilanciere medesimo col metallo più dilatabile posto verso il lato esterno. Venendo a crescere od a scemare la temperatura diminuisce od aumenta l'azione della molla e quindi l'orologio ritarda od accelera i suoi movimenti. D'altra parte però le lamine compensatrici PM, QN s'incurvano all'indentro od all'infuori e riavvicinano od allontanano i loro rispettivi globetti M, N dal centro di movimento, per cui lasciano alla molla maggiore o minor forza motrice; talchè per essi succede un effetto contrario a quello prodotto dalle variazioni di calore sulla molla. Ora se i ritardamenti e gli acceleramenti avvenuti in causa della molla sono eguali a quelli contrarii prodotti dai globetti delle lamine, vi

sarà un esatto compenso e l'orologio continuerà a moversi regolarmente a malgrado delle variazioni di temperatura. Di questo sistema di compensazione sono forniti tutti i *cronometri*, nei quali il regolare movimento è indispensabile.

980. I legni provano molto meno dei metalli gli effetti dell'azione del calorico, anzi esposti nel loro stato ordinario ad una maggior temperatura subiscono un lieve accorciamento, e ciò in causa dell'umidità che è loro inerente a malgrado che siansi lasciati bene stagionare, il quale effetto non è del tutto compensato dal tenuissimo allungamento prodotto in essi dal calore. Il contrario avviene se la temperatura è diminuita, provando il legno un piccolissimo allungamento a cagione dell'umidità che riprende dall' aria atmosferica. Questi effetti dell'umidità richiedono un tempo molto lungo e non han luogo all'istante come l'effetto del calore sui metalli. Si è pensato quindi di applicare al pendolo la verga di legno d'abete alquanto rigonfiata nel mezzo, e per impedire su di essa l'azione dell'umidità e renderla quindi insensibile all' influenza delle variazioni ordinarie di temperatura, si è disseccata nel forno e poscia imbevuta d'olio di lino e ricoperta d'una buona vernice coppale. Il pendolo così costrutto dal barone di Zach è stato posto a confronto per alcuni anni con uno dei più esatti pendoli a compensazione, ed ha trovato che essi andavano d'accordo, non avendo mostrato quello a verga di legno minor esattezza dell'altro a compensazione. Pel suo poco costo di costruzione esso è conosciuto sotto il nome di *pendolo del povero astronomo*.

981. I corpi, nel dilatarsi per un aumento di temperatura e nel contrarsi per una diminuzione, spiegano una gran forza, che talvolta dall'umana industria è applicata con profitto. Si osservi primieramente che lo *sforzo di dilatazione*, impiegato dai corpi contro un ostacolo che si oppone alla loro espansione, eguaglia la *resistenza di compressione*, di cui sono dotati e che sarebbe capace d'impedire la dilatazione medesima. Infatti, se è mestieri il peso di 1000 chilogr. per raccorciare la lunghezza, per es., d'una spranga di ferro verticale, d' una quantità eguale a quella di cui la ridurrebbe l'abbassamento d'un grado di temperatura; è chiaro che, caricata superiormente del peso di 1000 chilogr. e riscaldata di 1°, lo sforzo della dilatazione dovuta al calorico sarà bilanciato da quel carico e la lunghezza della spranga rimarrà invariabile. Con questo principio si può giudicare dei grandi effetti, che sono capaci di esercitare i corpi nel dilatarsi. I liquidi, che sono pochissimo compressibili (§. 161) e

molto dilatabili, possono produrre in tal modo i più grandi effetti in virtù del calorico. Fra i corpi solidi, il ferro e la ghisa spiegano pure una grande potenza colla loro dilatazione; ed è per ciò che, dovendosi nelle grandi opere dell'industria congiungere di seguito per le loro estremità parecchie spranghe di ferro, come nelle strade a rotaie, o parecchi tubi di ghisa, come nei condotti delle acque e dei gas, si lascia fra loro alcuni intervalli, che talvolta si riempono di materie molli, affinchè non si producano, nelle dilatazioni, degli effetti pregiudicevoli all'opera di cui fanno parte.

La *forza di contrazione* dei solidi poi eguaglia la *resistenza di tensione* o tenacità, che oppongono alla potenza diretta a distenderli: talchè, se è necessario lo sforzo di 1000 chilogrammi per produrre nella spranga di ferro l'allungamento eguale a quello prodotto dalla dilatazione per un grado di calore, è chiaro che, appeso ad essa un tal carico, il restringimento avvenuto per la diminuzione d'un grado di temperatura sarà bilanciato dalla detta forza di trazione e la sua lunghezza rimarrà la medesima. Essendo la tenacità del ferro molto grande, come lo mostrano i ponti pensili (§. 423) riesce del pari molto grande la sua forza di contrazione pel raffreddamento, e l'industria ha approfittato di questa proprietà per esercitare degli sforzi, che in certe circostanze superano i mezzi ordinarii forniti dalla meccanica. L'ingegnere Molard si è servito di tale potente forza per raddrizzare due muri opposti del Conservatorio d'arti e mestieri di Parigi, a malgrado dell'enorme pressione da cui erano deviati dalla verticale. Collegò i due muri verso l'alto con alcune spranghe di ferro orizzontali, che tuttora esistono in quell'edifizio, e poscia le riscaldò: a misura che si allungavano per la dilatazione, le serrava con cunei e viti applicate al di fuori dei muri da cui sporgevano. Lasciandole in seguito raffreddare, la forza di contrazione, che si sviluppava nell'abbandono del calorico, riavvicinò i muri, che col ripetere una tale operazione ricondusse ancora verticali.

Abbiamo già più volte avuto l'occasione di notare come il calorico, diminuendo la coesione dei solidi, li rende flessibili e malleabili.

982. L'alterazione prodotta dal calorico nelle dimensioni dei corpi è cagione d'una moltitudine d'altri fatti, dei quali alcuni sono anche dannosi ed a cui l'industria umana ha trovato la maniera di porvi riparo. Le materie fragili, non molto atte a dar passaggio al calorico, screpolano e si spezzano quando siano esposte a prendere rapidamente una temperatura molto elevata. Accade spesso ai vasi di vetro, di maiolica e simili, quando si portano subitamente dalla tem-

peratura di pochi gradi sopra lo zero a quella dell'acqua prossima all'ebollizione o all'inverso. Tali materie ritengono il calorico nelle parti direttamente investite, ivi si dilatano prima delle interne e sforzano la massa ad incurvarsi, a screpolare ed a rompersi anche per la sua fragilità. Lo stesso accade nel caso del rapido passaggio a temperatura molto minore, ossia nel caso di subitaneo costipamento. Quando si devono mettere all'azione del fuoco dei vasi di maiolica, di vetro ecc., bisogna prescegliere quelli a pareti molto sottili, a fine di evitare un tale pregiudicevole inconveniente, giacchè il calorico si diffonde bentosto in tutta la massa e la dilata egualmente. Appunto per questa ragione l'acqua si può far bollire su carboni ardenti contenuta in ampolle fatte di sottilissimo vetro, mentre in un bicchiere col fondo molto grosso è difficile di evitare che screpoli o si spezzi.

In alcuni vasi, composti di materie dotate di diversa dilatabilità, il fenomeno ha eziandio luogo a temperature meno violente. In tal caso alcune parti, dilatandosi di più delle altre, determinano nella massa un incurvamento e quindi uno spostamento simile a quello poc'anzi considerato. Nei nostri vasellami di terra cotta vetriata (*maiolica* e *terraglia*) la difficoltà di accordare la dilatazione dell'argilla, che ne forma l'interno, con quella dello smalto che li ricopre per venustà, è la cagione principale per cui screpolano alla prima azione alquanto sensibile di calorico. Egli è quindi il miglior accordo possibile di tali dilatazioni, che devesi studiare dal fabbricatore di quegli oggetti d'uso comune ed esteso, ed in ciò sopratutto si è che le terraglie inglesi superano le nostrali.

Il cambiamento di temperatura altera il grado di tensione delle corde degli strumenti musicali e induce nei loro suoni un rapporto differente di quello necessario all'accordo. Un gravicembalo quindi, dall'uno all'altro mese dell'anno, può per la differenza di temperatura diventare scordato. L'azione del calorico sui fili tesi ha fatto nascere il pensiero dell'*arpa d'Eolo* composta di parecchi di questi fili le cui vibrazioni variano secondo la temperatura del vento, che li agita. Un orecchio molto esercitato può altresì accorgersi del cambiamento di tuono, che subisce una campana passando da una temperatura molto calda ad altra molto fredda e viceversa. In generale gli strumenti d'astronomia, di geografia, di fisica, le cui dimensioni devono rimanere invariabili o almeno dilatarsi uniformemente, guiderebbero a risultati erronei se non si tenesse conto dei cambiamenti, che subiscono a diverse temperature.

983. Dalla rarefattibilità e condensabilità, ossia dalla dilatazione e

contrazione in virtù del calorico dipendono gli strumenti per la misura delle temperature, come si è altrove indicato (§. 134). Ora dobbiamo occuparci più circostanziatamente di questi misuratori, facendo precedere un cenno storico sul termometro comune, da cui avremo una prova di molti tentativi che nelle scienze sperimentali si richiedono per giungere alla perfezione, principalmente in tempi che le scienze giacevano ancora nell'infanzia.

Gli effetti, quando corrispondano e siano proporzionali alle rispettive cagioni, servono di misura alle medesime; ed è per ciò che la dilatazione venne impiegata alla valutazione dei gradi di temperatura. Si comprende per altro come queste dilatazioni debbano essere d'accordo coll'aumento delle temperature in modo che, se la dilatazione d'un millimetro corrisponde ad una data quantità di calorico, quella di due millimetri corrisponda alla quantità doppia: lo che generalmente non si verifica in causa che le precedenti azioni calorifiche, avendo già prodotto un grado d'allontanamento nelle molecole del corpo, hanno con ciò posta la coesione in circostanza svantaggiosa per opporsi egualmente alle successive dilatazioni. Esamineremo quanto prima questa importante questione, onde avere un termometro esatto e comparabile. Intanto diremo che il corpo, il quale colle sue dilatazioni serve alla costruzione del termometro, può essere fluido o solido, e che in ogni caso chiamasi *corpo termoscopico.*

984. Incerti sono gli scrittori sul primo inventore del termometro. Alcuni ne attribuiscono l'onore a Galilei, altri all'Olandese Drebbel, e vi è anche chi ne dà il merito a Fludd ed a Santorio. Benedetto Castelli, in una lettera del 1638, scrive che da più di 35 anni addietro vide l'istrumento di Galilei *per esaminare i gradi del caldo e del freddo.* Sagredo, in una lettera al Galilei medesimo, così si esprime: *l'istrumento per misurare il caldo, inventato da V. S. Eccel., è stato da me ridotto in diverse forme assai comode et esquisite. — Ho con questi strumenti speculate diverse cose maravigliose, che nell'inverno sia più fredda l'aria che il ghiaccio e la neve* ecc. (1); ed infatti era per quei tempi importante d'aver scoperto che l'aria può essere più fredda del ghiaccio. D'altronde nessuno ha provato che Drebbel mostrasse il termometro prima del 1620 quando passò in Inghilterra, cioè più di diciassette anni dopo che Galilei ne faceva uso. D'altronde posteriori di tempo ne scrissero

(1) *Memorie e lettere inedite e disperse di Galileo Galilei*, di Venturi, t. I, pag. 20.

Fludd e Santorio. Libri in un suo scritto (1) fa risalire l'invenzione del termometro fatta da Galilei ad un'epoca anteriore al 1597, e ciò all'appoggio dell'attestazione di Castelli e Viviani scolari del celebre Italiano. Il quale strumento ricevette qualche perfezionamento da Sagredo. Che Galilei sia il primo inventore dello strumento destinato alla misura delle temperature, viene dimostrato dal Nelli nella vita del Galilei medesimo.

Galilei prese l'aria per corpo termoscopico, e il suo strumento consiste in un tubo di vetro *ab* terminato superiormente in una bolla sferica o bulbo, ed immerso per l'estremità inferiore nel liquido contenuto nel vasellino V (fig. 208). Riscaldava la bolla affine di rarefar l'aria, e poscia immergeva verticalmente il tubo nel vasellino V pieno d'acqua comune mescolata con piccola quantità d'acqua regia (acido nitro-cloridrico), acciò non gelasse nell'inverno, e colorata con qualche tintura per meglio vedere la colonna liquida nel tubo. L'aria del bulbo, nel raffreddarsi per riprendere la temperatura ordinaria, si costipava e dava adito a porzione del liquido di ascendere nel tubo. Applicava poscia il tubo col vasellino così disposti sopra la tavoletta CD, dove era scolpita la scala. Le avvertenze per la costruzione di questo strumento sono, che tra la bolla ed il tubo vi sia una proporzione tale che l'aria nei massimi freddi non si restringa tutta nella bolla, e nel maggior calore non si dilati di tanto da espellere interamente dal tubo il liquido nel vasellino.

Il modo d'agire è facile ad essere inteso, ritenendo che l'aria è il corpo termoscopico e la colonna liquida serve soltanto d'indice. Sopravvenendo accrescimento di calore, l'aria del bulbo si dilata e fa abbassare la colonnetta liquida nel tubo; nel caso di temperatura più fredda, essa si costipa e lascia adito alla colonnetta medesima d'innalzarsi nel medesimo. Le indicazioni del *termometro di Galilei* succedono con moti in direzioni opposte a quelle del termometro comune (§. 134), essendo in questo il corpo termoscopico il liquido e in quello di Galilei l'aria.

Questo strumento ha una scala arbitraria e i suoi gradi non si riferiscono ad un termine fisso; d'altronde il liquido nel vasellino evapora col tempo e può essere facilmente in altro modo disperso, il che è causa di variazione nella scala; inoltre la maggior o minor

(1) *Memoria sulla determinazione della scala del termometro dell'Accademia del Cimento*, negli *Annales de chimie et de physique*. Parigi 1830, t. XLV, pag. 354; e nell'*Antologia di Firenze* dello stesso anno, t. XL.

elevazione nel tubo dipende dalla pressione atmosferica esterna, la quale pressione è mutabile indipendentemente e diversamente dalla temperatura (§. 649). Sono queste le principali ragioni per cui lo strumento fu abbandonato come misuratore della temperatura, essendosi soltanto conservato come *termoscopio* od indicatore delle variazioni subitanee di calore. Questo primo abbozzo fu utile però in quanto che, invitando i fisici a perfezionarlo, li condusse gradatamente alla costruzione del termometro, che si usa oggidì nella società e nelle scienze

985. Erano in quei tempi così poco abituati gli spiriti alle sperienze ed alle indagini della natura che fu necessario un intervallo di oltre un mezzo secolo per togliere soltanto qualche imperfezione allo strumento destinato alla misura del calore. Verso l'anno 1657 comparve il *termometro dell'Accademia del Cimento*, che ha per corpo termoscopico l'alcoole, e nella costruzione mecanica è in tutto simile allo strumento, che si usa oggidì (§. 134). In tal maniera fu tolto l'inconveniente dell'evaporazione e dello spandimento del liquido e dell'influenza della pressione atmosferica; ma esso non era fornito di scala fondata su qualche temperatura nota e fissa. Gli Accademici del Cimento s'avvidero di tale imperfezione e tentarono di rimediarvi: davano al bulbo ed al vano del tubo tale rapporto di grandezza *che riempiendolo fino ad un certo segno del suo collo con acquarzente* (alcoole), *il semplice freddo della neve e del ghiaccio non basti a condensarla sotto i* 20 *gradi del cannellino*; *come per lo contrario la massima attività dei raggi solari*, *eziandio nel cuor della state*, *non abbia forza di rarefarla sopra gli* 80 (1). Esso aveva il cannello diviso in 50 parti eguali, senza però indicare quali termini fissi determinano l'intervallo compreso da quel numero di parti. Ma fu fin d'allora osservato che immerso nel ghiaccio o nella neve si riduceva a gradi $13\frac{1}{2}$, e che ne segnava 14 quando all'aperta campagna si agghiacciava l'acqua; ed all'incontro esposto al sole nel cuore della state, senza aver all'intorno verun corpo, saliva in Firenze sino a 43 gradi ed all'ombra nella stessa stagione a gradi 34. Queste temperature, notate eziandio dall'Antinori (2), non servivano però come termini estremi d'un determinato intervallo della scala, il quale avrebbe

(1) *Saggi di naturali sperienze* ecc., edizione sopra citata, pag. 12.

(2) Nelle *Notizie storiche* di quell'Accademia premesse all'edizione su citata, pag. 40.

compreso in tal modo circa 30 di quei gradi, cioè dal 13 $\frac{1}{2}$ al 43 fra la temperatura del ghiaccio e il massimo calore estivo del sole. Tuttavolta quei termometri andavano d'accordo fra loro nelle molte centinaia o migliaia che l'Accademia diffuse per tutta l'Italia e in parecchie città d'Europa. L'Accademia ne costrusse altri più sensibili di un numero maggiore di gradi. Questa concordanza d'indicazione era più dovuta alla destrezza od all'abilità dell'artefice, come è notato anche dagli stessi Accademici (pag. 14), che ad una norma stabilita su dati fissi ed invariabili. Alcuni vogliono che l'artefice stesso, oltre regolare la quantità d'alcoole colla capacità del bulbo e del vano del cannello, si servisse d'un punto determinato, il quale, se a tutto rigore non si possa dire fisso, è però fondato sopra una temperatura presso che costante, quale è quella dei sotterranei. Questa circostanza è notata anche da Muschenbroek.

986. Il termometro dell'Accademia del Cimento ha servito per parecchi anni ad osservare, non solo in tutta l'Italia ma in tutta l'Europa, la temperatura dell'atmosfera e dei corpi. Interessava quindi di conoscere qual esatto rapporto avesser i suoi gradi coll'istrumento che si usa oggidì presso tutti i dotti e tutte le nazioni. Questo desiderio è stato soddisfatto per la scoperta fatta a Firenze nei magazzini del Museo d'una cassa, la quale, fra diversi altri strumenti, conteneva un gran numero di quei termometri. Prestarono questi a Libri l'occasione d'istituire più di 200 osservazioni comparative, le cui medie gli diedero per risultamento dei numeri assai prossimi a quelli ottenuti da lui per interpolazione. Egli ha trovato che il punto, dove si metteva la colonna liquida del termometro del Cimento, immerso nel ghiaccio pesto, segna ancora con moltissima approssimazione gradi 13 $\frac{1}{2}$, come è stato notato da quegli Accdemici. In questo termometro dunque il punto del ghiaccio non ha cambiato di posizione elevandosi di qualche grado, come si è trovato in parecchi termometri ed a cui si rimedia colle precauzioni che in seguito indicheremo. Lo stesso Libri ha trovato altresì che lo zero del termometro del Cimento di 50 gradi, corrisponde a—15° del termometro ottagesimale ed il grado 50° a 44° dello stesso (1). Si apprende da que-

(1) Si vegga la *Memoria* su citata di Libri negli *Annales* ecc. letta da lui all'Accademia francese, alla quale offriva due di quei antichi termometri, uno dei quali esiste pure nel *Gabinetto di fisica* del R. Liceo a S. Alessandro di Milano, offerto al medesimo dall'Antinori direttore del Museo di Firenze.

sti confronti che 50 gradi del termometro del Cimento equivalgono a 59 gradi di quello ottagesimale, e che per conseguenza 1° del primo risulta di 1°,18 del secondo termometro.

Questi dati riescono tanto più importanti in quanto che il termometro del Cimento servì a parecchie osservazioni intraprese da Viviani, Torricelli ed altri. Inoltre poco tempo dopo Borelli a Pisa, Ranieri a Firenze, Cavalieri e Riccioli in Lombardia organizzarono, sotto la direzione dell'Accademia del Cimento, un sistema assai esteso di osservazioni meteorologiche simultanee; mentre Ferdinando II di Toscana incaricò i monaci di parecchi conventi di quella parte d'Italia di osservare regolarmente il termometro e gli altri strumenti meteorologici conosciuti a quell'epoca. Si raccolse in tal modo per parecchi anni una grande quantità di osservazioni, per le quali fu iniziata la cognizione della temperatura media dei luoghi più importanti d'Italia. Lo scioglimento dell'Accademia, avvenuto per l'influenza dei nemici di Galilei, fu cagione che la maggior parte degli scritti relativi a quelle osservazioni, unitamente agli strumenti stessi con cui erano fatte, andasse distrutta e dispersa. Fra le carte rinvenute trovavasi una parte delle osservazioni istituite a Firenze da Ranieri durante il corso di 16 anni e parecchi termometri ad alcoole con cui venivano fatte, i quali, come si disse, erano tutti d'accordo nelle loro indicazioni. Da queste osservazioni, confrontate con quelle instituite a Firenze nel 1820, risulta che la temperatura dopo più d'un secolo e mezzo non ha variato, e che per conseguenza provano la falsità dell'opinione, comunemente invalsa in Toscana, che il disboscamento degli Apennini fatto dal 1770 in poi abbia prodotto una diminuzione di temperatura nel clima di quel paese. Le osservazioni di Borelli poi, fatte coll'antico termometro sul calore proprio di alcuni animali, mostrano che quel calore non ha cambiato. Quest'illustre fisico italiano, nella sua opera *De motu animalium*, pag. 395, dice che la temperatura del cuore del cervo è di 40° del termometro del Cimento, che equivalgono a circa 32° dell'ottagesimale. Il Libri si proponeva inoltre di mettere a confronto le temperature attuali d'un gran numero di sorgenti minerali degli Apennini con quelle delle medesime segnate nei registri dell'Accademia del Cimento (Si vegga la *Memoria* su citata).

987. A malgrado degli sforzi fatti dagli Accademici del Cimento per ottenere dei termometri fra loro comparabili, ossia che *parecchi di essi, costrutti in diversi luoghi, in diversi tempi e da parecchie persone, fossero tutti d'accordo nelle loro indicazioni esposti allo*

*stesso calore*, non fu risolto il problema che quasi 37 anni più tardi da Carlo Renaldini, il quale, dopo lo scioglimento dell'Accademia del Cimento di cui faceva parte, passò professore a Padova (1). Il processo per costruire il termometro comparabile, di cui si serviva questo fisico italiano, è assai ingegnoso, e in esso si contengono i principii fondamentali su cui è basato l'attuale termometro. Prendeva egli il tubo di vetro, che riempiva di mercurio sino a tale altezza che nei massimi freddi non si ritirasse il liquido intieramente nel bulbo. Immergeva il tubo col bulbo così preparato nel ghiaccio, ed al punto dove si metteva il mercurio segnava zero. Poscia ripeteva la stessa operazione con una mescolanza di 1 parte d'acqua bollente ed 11 di acqua gelida, e poneva 1 al punto dove saliva il mercurio. Nello stesso modo operava con 2, 3, 4, 5, 6 ecc. parti d'acqua bollente e 10, 9, 8, 7, 6 ecc. d'acqua gelida per ottenere 2, 3, 4, 5, 6 ecc. gradi.

Per quanto questo processo sia lungo ed incomodo, e possa condurre a qualche errore, esso non lascia d'essere giusto nel suo principio e molto ingegnoso. Acquistò esso maggior semplicità quando Renaldini propose di prendere il tubo ben calibro, e di segnare soltanto i due estremi della scala colle temperature del ghiaccio e dell'acqua bollente, dividendone l'intervallo in 12 parti eguali. Sono queste le due temperature, colle quali si costruisce oggidì il termometro, il cui intervallo, invece d'essere diviso in 12 parti come faceva Renaldini, si spartisce in 100 od in 80 parti. Al fisico italiano si deve dunque la gloria d'aver proposto, avanti ogni altro, le temperature del ghiaccio e dell'acqua bollente per istabilire gli estremi della scala del termometro; ed al suo processo non si è aggiunto oggidì altro che alcune cautele per avere quelle temperature sempre fisse ed eguali in qualunque tempo ed in qualunque luogo. Duole pertanto che il metodo di Renaldini non sia stato diffuso abbastanza in quei tempi, in cui le comunicazioni non erano così facili come attualmente, perchè oltre esser egli ricordato con onore negli annali dei progressi dello spirito umano, sarebbe diventato più popolare il nome d'un fisico italiano presso il maggior numero degli uomini, che compongono la società e fanno un uso continuo del termometro. In Inghilterra ed in Germania si ricorda con lode l'idea del nostro fi-

(1) Si vegga l'opera di lui: *Philosophia naturalis. Patav.* 1694, in foglio, t. III, pag. 276.

sico (1); e duole altresì come in tutti i *Trattati di fisica* italiani da me veduti non si faccia parola di Renaldini, che è pure italiano, imitando così i Francesi che, nei cenni storici del termometro, omettono il nome di lui come il primo che propose il vero metodo per avere il *termometro comparabile*.

988. Dopo il fisico italiano cercò anche Newton di stabilire dei punti fissi per avere un termometro comparabile. Durante l'anno 1701 pubblicò nel t. IV delle *Transazioni filosofiche* diverse temperature ch'egli chiamava costanti, e che espresse in gradi del suo termometro. Scelse per corpo termoscopico l'olio di lino, dando alla scala due punti fissi: l'uno la temperatura della neve che segnava zero, l'altro quella del corpo umano notata con 12, dividendone l'intervallo in 12 parti eguali o gradi. La temperatura dell'acqua bollente corrispondeva a 34 gradi (2). Questo termometro, a malgrado della celebrità dell'autore, fu dimenticato, avendo parecchie imperfezioni.

989. L'idea felice di Renaldini non venne abbastanza diffusa, nè quella di Newton non incontrò quell'accoglimento, che rende generale l'uso di tal sorta di strumenti, allorquando Fahrenheit presentò verso l'anno 1724 alla *Società reale* di Londra il suo termometro, il quale ebbe in Inghilterra miglior fortuna. Il termometro di Fahrenheit, usato anche oggidì nei tre regni uniti della Gran Bretagna, ha in origine la scala divisa in 600 parti eguali o gradi con due punti fissi: l'inferiore corrisponde alla temperatura del miscuglio a parti eguali di neve e di sale ammoniaco, che era il freddo più intenso da lui osservato a Danzica nel 1809; il limite superiore è il calore del mercurio in ebollizione. Osservando poscia con siffatto termometro la temperatura del ghiaccio o della neve allo stato di fusione, la trovò di 32 gradi che è il *punto della congelazione*, e quella dell'acqua bollente di 212° che appellò *punto d'ebollizione*; per cui questi due punti distano fra loro di 180 gradi. Stabiliti questi due punti, il termometro s'incominciò a costruire dividendo l'intervallo, che essi comprendono, in 180 parti eguali, a cui se ne aggiungono altre 32 al dissotto della congelazione dell'acqua per avere lo zero originario

(1) *Lezioni di Black*, volume I, pag. 56 e 57; *Acta eruditorum* di Lipsia, Suppl., t. II, sezione X, pag. 455; *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. IX, pag. 858, come pure *Geschichte der Physik von Fischer*. Gottinga 1802, t. III, pag. 216.

(2) Si vegga l'opera di lui: *Scala graduum caloris et frigoris*. Opus Newton, tom. II.

della scala di Fahrenheit. Lo strumento, in tal modo costrutto, non differisce, in quanto ai due punti fissi, da quello dei comuni termometri, e vi ha solo differenza nella divisione di quell'intervallo.

990. In Francia Amontons ha ritenuto l'aria per corpo termoscopico, migliorando lo strumento di Galilei (1) e proponendolo come vero termometro poco prima di Fahrenheit in Inghilterra. A malgrado dei miglioramenti introdotti è rimasto ancora un semplice termoscopio, di cui parleremo quando si tratterà degli strumenti ad aria.

Reaumur si applicò pure in Francia del termometro comparabile; e pubblicò il risultato delle sue indagini verso il 1730. Il suo termometro ha un solo termine fisso, il ghiaccio deliquescente, da cui ha incominciamento la scala. Ciascun grado nel tubo aveva per capacità la millesima parte dello spazio occupato dal liquido nel bulbo sino al punto ove era segnato zero alla temperatura del ghiaccio, infine scelse per liquido termoscopico l'alcoole inacquato in modo che si dilatasse di 80 parti sopra 1000 per passare dalla temperatura zero del ghiaccio a quella maggiore, che poteva sopportare senza bollire (2). Allo scopo di facilitare la divisione in 1000 parti del liquido contenuto nel bulbo e in porzione del tubo onde avere la capacità del grado, Reaumur si serviva di un gran bulbo che aveva il diametro di 8 centimetri (3 pollici), che riempiva di mercurio e ne prendeva la millesima col peso. Formava così un termometro campione che serviva a farne altri di minori dimensioni ad alcoole, segnando i gradi di questi colle indicazioni del campione esposto alla medesima temperatura. Sono questi i principii su cui era fondato il vero termometro di Reaumur, *il quale non si deve confondere con quello, che oggidì è chiamato da alcuni impropriamente collo stesso nome,* e che è il *termometro ottagesimale.* Imperciocchè nel vero termometro di Reaumur l'ottantesimo grado corrisponde all'ebollizione dell'alcoole inacquato; mentre nell'altro si riferisce all'ebollizione dell'acqua distillata. L'autore scelse un solo punto fisso, avendo supplito all'altro per avere l'ampiezza del grado col prendere un liquido, che avesse una determinata dilatabilità per passare dalla temperatura del ghiaccio alla sua ebollizione. Nella maggior parte dei trattati di fisica francesi ed italiani si dà come termometro di Reaumur quello ottagesimale, che si usa oggidì, il che è errore manifesto, corrispondendo la temperatura dell'acqua bollente nel vero termometro di quel fisico a

(1) Vedi *Mémoires de l'Académie des sciences*, del 1702, pag. 161.
(2) Vedi *Mémoires* della suddetta Accademia di Parigi del 1730, pag. 452.

gradi 100,4 della sua scala, cioè a più di 20 gradi oltre il suo termine superiore (1). Laonde il grado del vero termometro di Reaumur eguaglia con molta approssimazione quello del comune termometro centesimale e differisce di molto da quello che si chiama erroneamente col suo nome.

De l'Isle presentò all'Accademia di Pietroborgo nel 1733 il suo termometro costrutto pure sopra un solo punto fisso (2), che fu poscia dimenticato come quello di Reaumur, essendo stabilito in ambidue l'ampiezza del grado sopra un rapporto costante del volume del liquido impiegato ad una determinata temperatura. La dilatazione apparente dell'alcoole inacquato nell'uno e del mercurio nell'altro termometro, non è che l'eccesso della loro dilatazione reale su quella del vetro in cui sono rinchiusi, per cui essi non possano andar d'accordo se non quando abbiano la medesima forma, la medesima grandezza, ed il vetro impiegato nella loro costruzione sia egualmente dilatabile. Ognuno comprende la grande difficoltà, per non dire l'impossibilità, di ottenere l'ultima condizione, per essere i vetri delle differenti fabbriche mai o quasi mai della stessa natura e quindi di diverso grado di dilatabilità.

991. Parecchi altri termometri furono proposti da diversi fisici, fra i quali noteremo quello di Halles, che aveva l'alcoole per corpo termoscopico e pei punti estremi della scala, divisa in 100 parti eguali, le temperature del ghiaccio e della cera pura all'atto che incomincia a coagularsi od a riconsolidarsi, dopo essere stata fusa (3). Ciò che importa è di far conoscere i miglioramenti principali che ricevette la costruzione del termometro per giungere a quello che oggidì conosciamo.

Fontana Felice si occupò dei primi ad indagare le circostanze, che possono far variare le temperature adottate pei punti estremi della scala nell'attuale termometro. In una lettera (4) scritta al duca di Chaulnes a Parigi colla data del 2 dicembre 1781, gli comunica di aver costrutto dei termometri così sensibili, che erano atti a far co-

(1) *Dictionnaire raisonné de physique*, par Brisson, seconde édition, t. VI, Paris 1800, pag. 188.

(2) *Mémoire pour servir à l'histoire et aux progrès de l'astron. et géographie physique*. S. Petersbourg 1738, pag. 267.

(3) Si vegga l'*Histoire philosophique des progrès de la physique* par Liebes, Paris 1812, t. III, pag. 128

(4) *Opuscoli scientifici di Felice Fontana*. Firenze 1783, pag. 165.

noscere le differenze minime di temperatura *ed a fissare* (egli dice) *anche meglio di quel che si è fatto sin qui le più piccole varietà dell'acqua gelata e dell'acqua bollente, e la legge che si osserva al più piccolo cangiamento di peso nell'atmosfera. Quei due punti non sono così fissi, come si è creduto, e vanno rilevate le cangianti circostanze di essi. Per quanto possa parere paradossa questa proposizione, non lascia però d'essere men vera. L'evaporazione più o meno facilitata nell'acqua bollente, il fuoco applicato diversamente ai vasi dell'acqua, l'azione dell'acqua contro dei vasi, quella dell'aria sopra la superficie dell'acqua bollente, la grossezza stessa del vaso, concorrono a dare diversi gradi di caldo all'acqua bollente medesima; talchè osservando attentamente si trovano delle differenze che potrebbero montare a più gradi quando andassero tutte per un verso. Mi è dunque convenuto di torre affatto queste ineguaglianze o diminuirle almeno moltissimo e dissipare tutte quelle circostanze, nelle quali il calore non era più costante.* Poco dopo soggiunge: *Ho trovato le leggi dei calori nei vasi di diversa natura. È incredibile quanto siano grandi le differenze, diverse le leggi nelle diverse materie dei vasi.* Fontana osserva inoltre che il punto del ghiaccio non è costante, giacchè un termometro varia secondo che si segna quel punto al buio od alla luce. Egli ha trovato altresì, con uno degli stessi suoi termometri molto sensibili ed a scala centesimale, che non continua a segnare lo zero finchè havvi un minuzzolo di ghiaccio. Abbiamo voluto riportare testualmente la maggior parte dei risultati di Fontana per mostrare come egli avesse trovato, sin dal secolo trascorso, ciò che nel presente fu presentato da qualche straniero come nuovo intorno alle norme per costruire esatti termometri. Si prova certamente rammarico nel vedere che, nei libri di fisica, non si faccia parola di queste importanti osservazioni del fisico italiano, la quale ommissione riesce tanto più riprovevole in opere scritte nella nostra lingua.

Uno dei fisici, che più si occuparono del perfezionamento del termometro, fu de Luc, il quale studiò pure le circostanze in cui le temperature del ghiaccio e dell'acqua bollente potevano essere considerate costanti e fisse, e quale fosse il miglior liquido, che colle sue dilatazioni indicasse degli aumenti proporzionali alle quantità di calorico, da cui sono prodotte (1). Gay-Lussac e parecchi altri fisici contribuirono molto tempo dopo al perfezionamento d'un sì importante strumento, come or ora vedremo.

(1) *Recherches sur les modifications de l'atmosfère.* Paris 1784, t. II.

992. Dal breve cenno storico sull'invenzione e sui successivi miglioramenti del termometro, ciascuno si sarà accorto che la costruzione di questo strumento dipende in generale da due principii: 1° il *calorico dilata i corpi*; 2° *vi sono fenomeni, che si riproducono sempre alla stessa temperatura*. Per meglio comprendere come, all'appoggio dei suaccennati principii, si giunga alla costruzione d'un esatto termometro, è mestieri che ci occupiamo a determinare il *miglior corpo termoscopico, la proprietà del tubo per racchiuderlo*, come pure *la maniera di racchiuderlo* e infine *le cautele necessarie a stabilire i punti fissi della scala*. Al quale scopo per maggior chiarezza, divideremo le successive operazioni e dichiarazioni in diverse categorie (1).

I. *Scelta del tubo*. Il tubo, per la costruzione del termometro deve essere di limpido cristallo, scevro di bolle e ben pulito internamente, per cui è bene d'introdurvi dell'acido nitrico puro e concentrato e di riscaldarlo: le tenuissime sostanze in polvere e le materie grasse sono in tal modo distrutte. S'introduce poscia a parecchie riprese dell'acqua distillata, e si riscalda per ottenerlo molto proprio all'uso. Ma ciò che più importa si è d'avere il tubo *ben calibro*; cioè che il suo vano sia esattamente d'egual diametro per tutta la sua lunghezza, affinchè ad eguali elevazioni del liquido corrispondano eguali volumi. Si riconosce questo pregio del tubo introducendo in esso tanto mercurio da formare una colonnetta di circa 2 centimetri di lunghezza. Con l'inclinazione conveniente o con una leggier pressione esercitata, secondo consiglia Landriani, mediante una boccettina di gomma elastica, si fa scorrere successivamente il liquido nel vano del tubo, e qualora conservi sempre la medesima lunghezza in tutto lo spazio percorso è una prova d'aver il tubo l'egual diametro interno ossia d'essere *calibro*, che se, nel far muovere il mercurio, la colonnetta si dispone in una maggiore o minore lunghezza, allora è segno che in quel sito il vano del tubo è di diametro più piccolo o più grande del precedente. Bisogna scartare i tubi che manifestano una tale irregolarità, come non adatti alla costruzione dell'esatto termometro:

(1) Marsiglio Landriani ha raccolto tutte le manipolazioni suggerite dalla scienza e dall'arte, per la costruzione del termometro, in uno scritto sin dallo scorso secolo, il quale fu poscia pubblicato nel *Giornale di fisica*, *chimica* ecc. di L. Brugnatelli, decade II, t. II, Pavia 1819, pag. 292, sotto il titolo di *Principali avvertenze sulla costruzione dei termometri*; ed è da esso che abbiamo attinto alcune delle operazioni, di cui si fa qui parola.

Allorquando non si trovasse alcun tubo ben calibro fra quelli preparati, bisogna dividerne la lunghezza in porzioni d'eguale capacità, secondo insegna Gay-Lussac (1). A tal fine si dispone il tubo sopra una tavola orizzontale (fig. 209) applicandovi la boccettina di gomma elastica B. Introdotta nel tubo la quantità di mercurio sufficiente ad empire più della metà della sua lunghezza *ab*, su cui devonsi notare gradi, si segna il punto *a* dove incomincia la colonnetta e l'altro *m* dove essa giunge. Premendo la boccetta B, si spinge il liquido sino all'altra estremità *b* e si nota il punto *n* dove termina dall'altro lato. E chiaro che le due porzioni *am*, *bn* del vano del tubo avranno egual capacità. Se quindi, nell'esplorare il tubo, siasi trovato che nell'intervallo *mn* è calibro, si divide la lunghezza *mn* per metà in *o* onde avere il vano del tubo diviso in due parti *ao*, *bo* esattamente d'eguale capacità; altrimenti si ripeterà l'operazione per l'intervallo *mn*. Si procederà nella stessa maniera per rinvenire la metà di ciascuna delle due porzioni *am*, *bn*, e così di seguito. Gli spazii disuguali in lunghezza, ma eguali in capacità si notano sopra un regolo d'ottone o sopra una lista di carta per servirsene al momento che si gradua il tubo, e si segnano in qualsiasi maniera sul tubo. Questo metodo è stato applicato anche a correggere la scala di termometri già costrutti. Esso consiste in generale nel separare la colonna di mercurio in parti, e dalle differenze delle lunghezze, che esse prendono nelle differenti posizioni della scala misurate dai gradi, si deduce la deviazione del calibro e la correzione che si deve fare (2).

II. *Formazione del bulbo:* Negli ordinarii termometri si suole soffiare il bulbo. A tal fine si fonde il tubo ad un'estremità per dargli la forma d'una piccola palla massiccia di vetro, che si riscalda al calore prossimo alla fusione mediante il cannello avvivatore: si soffia poscia nel tubo per l'estremità aperta, con cui si gonfia la palla di vetro rammollito e la si trasmuta in isfera cava, che è il bulbo del termometro. Per ovviare all'introduzione dell'umidità nel tubo, Landriani consiglia di soffiare il bulbo per mezzo della boccettina di gomma elastica. Alle volte il termometro, invece della sfera A soffiata nel modo descritto (fig. 210), ha per bulbo il piccolo serbatoio cilindrico B, che si attacca al tubo col fonderne le parti che devono essere congiunte ed insieme saldate.

(1) Vedi *Traité de physique* par Biot. Parigi 1816, t. I, pag. 46.

(2) Si vegga per questi metodi l'opera: *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. IX, pag. 946.

III. *Scelta del corpo termoscopico.* Esso deve possedere i requisiti seguenti: 1° che si dilati e si contragga egualmente per eguali aumenti e decrementi di calorico; 2° che sia abbastanza sensibile colle sue dilatazioni e condensazioni ai cangiamenti di temperatura; 3° finalmente che sia di tale natura da non essere alterato col tempo e da non cambiare stato entro un intervallo più grande possibile di temperatura. Galilei, Amontons ecc. impiegarono l'aria per corpo termoscopico; Newton l'olio di lino; gli Accademici del Cimento, Reaumur ecc. l'alcoole; Renaldini, Fahrenheit e molti altri fisici in progresso di tempo preferirono il mercurio.

Di tutte queste materie, qual è quella che meglio soddisfa ai tre suaccennati requisiti? De Luc si è fra i primi occupato della ricerca del miglior corpo termoscopico. Sottoponeva egli i liquidi alla prova con un metodo somigliante a quello usato da Renaldini per la costruzione del suo termometro (§. 987). Mescolando due masse della stessa materia prese a differenti temperature si determina *a priori*, nella maniera che insegneremo, la temperatura dell' aggregato. Se quindi lo stesso termometro, impiegato a riconoscere le temperature delle due masse separate, segna quella dell' aggregato in modo d'accordarsi col calcolo, allora se ne deduce che il liquido di quel termometro ha le sue dilatazioni aritmeticamente proporzionali alle quantità di calorico, da cui è investito. È a prove di questo genere che De Luc ha sottoposto il mercurio che le sosteneva in modo soddisfacente, ed è perciò che egli lo prescelse come liquido termoscopico, il quale è altresì dotato degli altri requisiti. Paragonò altresì con un termometro a mercurio dei termometri fatti di diversi liquidi, fra i quali l'olio d'ulive, l'acqua pura, l'acqua saturata di sal comune, l'alcoole rettificato e l'alcoole più o meno inacquato; e trovò che essi discordavano molto da quello a mercurio e fra loro. Stabilendo per ciascuno gli estremi del ghiaccio e dell'acqua bollente, egli determinò le relazioni di 5 in 5 gradi della scala ottagesimale. Per dare un'idea della discrepanza di quei liquidi, ne riferiamo i gradi corrispondenti ad alcune temperature.

| A mercurio | Ad olio d'ulive | Ad acqua pura | Ad acqua satura di sale | Ad alcoole puro | Ad alcoole misto con altrettant'acqua |
|---|---|---|---|---|---|
| 80°. | 80°,0 | 80°,0 | 80°,0 | 80°,0 | 80° |
| 60. | 59,3 | 45,8 | 57,1 | 56,2 | 54,8 |
| 40. | 39,2 | 20,5 | 36,3 | 35,1 | 33,3 |
| 20. | 19,3 | 4,1 | 17,3 | 16,5 | 15,3 |
| 10. | 9,5 | 0,2 | 8,4 | 7,9 | 7,1 |
| 5. | 4,7 | —0,4 | 4,2 | 3,9 | 3,4 |
| 0. | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Si rileva che il termometro ad alcoole, tanto rettificatissimo che inacquato, segna sempre gradi minori di quello a mercurio per le temperature al disotto dell'acqua bollente, mentre da questo non molto discorda il termometro ad olio d'ulive, per non parlare di quelli ad acqua, le cui indicazioni sono affatto discordanti ed irregolari.

Abbiamo già notato che i fluidi aeriformi, non opponendo veruna forza all'azione del calorico, devono ritenersi i migliori corpi termoscopici, al contrario dei corpi solidi e liquidi, nei quali la coesione si oppone più o meno a quell'azione (§. 966). Tutto concorre a mostrare che l'aria, ben privata d'umidità, deve avere le dilatazioni proporzionali alle dosi di calorico, di cui viene investita.

L'aria, al pari di tutti i fluidi elastici, va soggetta ad un inconveniente per la costruzione del termometro, quale si è d'essere molto compressibile e quindi di variare facilmente di volume indipendentemente dalla temperatura. D'altronde al termometro ad aria non si possono dare tutte quelle disposizioni per servirsene nelle diverse indagini. Appunto perciò si è preferito il mercurio, essendosi però questo liquido messo a confronto con quel fluido. Secondo le sperienze di Gay-Lussac risulterebbe che, nell'intervallo compreso fra il ghiaccio deliquescente e l'acqua bollente, il mercurio va d'accordo

nelle dilatazioni coll'aria (1). Posteriormente si occuparono di simili indagini Dulong e Petit, e trovarono che anche sino a 36 gradi centesimali sotto lo zero la dilatazione del mercurio, riferita a quella dell'aria, è ancora uniforme e la medesima come dal ghiaccio deliquescente all'acqua bollente (2). Al di sotto di —36° il mercurio è troppo vicino al suo punto di congelazione per impiegarlo alla misura delle temperature. Hanno trovato altresì che da 100° sino a 360° centesimali il mercurio mostra delle dilatazioni crescenti in confronto di quelle dell'aria. In questa discordanza del mercurio in confronto dell'aria, nel dinotare colle loro dilatazioni i gradi di calore superiore a quello dell'acqua bollente, non resteremo incerti a decidere che le irregolarità siano dipendenti dal mercurio e che, da quanto si disse, debbasi l'aria ritenere come tipo cui riferire le dilatazioni dell'altro fluido per misurare i diversi gradi di calore. Confrontando Dulong e Petit un termometro centesimale a mercurio con altro simile ad aria, nel quale si fecero le corrispondenti correzioni per la dilatazione del vetro, hanno trovato i rapporti sotto il numero I qui sotto. Regnault molto tempo dopo si è occupato dello stesso soggetto (3) ed è pervenuto ai rapporti sotto il numero II.

| I. | | II. | |
|---|---|---|---|
| TERMOMETRO ad aria | TERMOMETRO a mercurio | TERMOMETRO ad aria | TERMOMETRO a mercurio |
| —36°. | —36°. | —— | —— |
| 0. | 0. | 0°. | 0°. |
| +100. | +100. | +100 | +100 |
| 148,70 | 150 | 150 | 150 |
| 197,05 | 200 | 200 | 200 |
| 245,05 | 250 | 250 | 250,3 |
| 292,20 | 300 | 300 | 301,2 |
| —— | —— | 325 | 325,9 |
| 350,00 | 360 | 350 | 353,3 |

(1) *Annales de chimie* ecc Parigi 1802, come pure *Annales de chimie et de physique*, seconda serie. Parigi 1816, t. I.

(2) *Annales* suddetti, seconda serie. Parigi 1817, t. VII.

(3) *Annales* suddetti, terza serie. Parigi 1842, t. V, pag. 83.

Regnault in tale occasione fa osservare che i termometri, fatti con differenti specie di vetro, quantunque vadino conformi da zero a 100°, differiscono però nelle loro indicazioni l'uno dall'altro nelle elevate temperature; il che fu verificato con esperienze dirette da Pierre (1).

Il termometro a mercurio entro certi limiti s'accorda con quello ad aria, e quel liquido si ritiene, per le temperature che non superano di molto quella dell'acqua bollente, come il più proprio sotto ogni rapporto alla costruzione dei termometri. Allorchè le temperature sono più elevate di 100°, si possono ridurre i gradi del termometro a mercurio in quelli ad aria, con un semplice calcolo basato sulle relazioni riportate. Tuttavolta Rudberg, che ha intrapreso pure delle indagini somiglianti, dà la seguente formola per tradurre i gradi T del termometro a mercurio in quelli $t$ del termometro ad aria (2)

$$t = 1{,}0002675\,T + \frac{0{,}25691}{(10)^4}\,T^2 - \frac{0{,}28366}{(10)^6}\cdot T^3$$

Dalla quale si ricavano i valori corrispondenti che seguono:

| T | $t$ | T | $t$ |
|---|---|---|---|
| — 36° | — 35°,36 | 100° | 100° |
| 0 | 0 | 200. | 198,81 |
| + 50. | + 50,04 | 300 | 294,73 |

IV. *Purificazione del mercurio.* Per fare un buon termometro è necessario che il mercurio sia ben puro. Questo liquido viene segregato da tutte le materie che sono natanti o semplicemente aderenti nell'interno della sua massa, filtrandolo attraverso i pori d'una pelle compatta quale è quella di bufalo; e si separa da quelle con cui è amalgamato, distillandolo in lambicco di vetro, oppure lavandolo con l'acido solforico a freddo secondo ha proposto Prandi pel mercurio destinato alla costruzione del barometro (§. 642). E anche meglio, secondo Landriani, di servirsi del mercurio tratto dal deutossido di questo metallo rivivificato a forte calore. Per togliergli l'umidità che può tenere aderente alle sue molecole, si riscalda il mercurio in un vaso agitandone la massa con una bacchetta di vetro.

V. *Introduzione del liquido.* Il liquido s'introduce nel tubo e nel bulbo scelto per la costruzione del termometro con un'operazione somigliante a quella diretta a provare la dilatazione degli aeriformi (§. 963). A tal fine si prende il tubo T di cui si avvicina gra-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. x, pag. 52.

(2) Vedi il giornale *L'Institut*, anno x, num. 421, pag. 32.

datamente il bulbo ai carboni ardenti nel caldano BC (fig. 211) ponendolo sino a contatto del fuoco. Quando è ben riscaldato e l'aria rarefatta, si capovolge il tubo e s'immerge per l'estremità aperta nel mercurio depurato contenuto nel vaso V (fig. 212). Il liquido, a misura che l'aria si costipa, sale nel tubo ed entra a riempire in parte il bulbo. Si ripete l'operazione riscaldando di nuovo il bulbo ai carboni ardenti ed immergendolo per l'estremità aperta nel mercurio. Si giungerà con ciò a riempire il bulbo e porzione del tubo di mercurio; e nelle successive operazioni si potrà portare ben anche questo liquido alla temperatura dell'ebollizione per espellere l'aria e l'umidità che potesse tenere aderente.

La quantità di mercurio deve essere tale che nei massimi freddi non si restringa tutto nel bulbo, e che nei massimi calori estivi o alle temperature, cui deve essere sottoposto l'istrumento nelle sperienze, non occupi l'intero tubo con pericolo d'infrangerlo in un'ulteriore dilatazione. Si regola la quantità di mercurio pei diversi casi segnando sul tubo il punto cui giunge alla temperatura attuale, e poscia riscaldandolo, per es. di 10 gradi di calore, notando sin dove si eleva nel tubo. Si avrà così l'intervallo noto, che si prende coll'apertura di compasso per regolare il punto dove deve incominciare la scala e la lunghezza del tubo per l'estensione da darsi alla medesima. Se la quantità di mercurio introdotta eccede la quantità conveniente, non resta altro che riscaldare il bulbo per farne sortire la porzione sovrabbondante; e se al contrario è in difetto di liquido, si adatta all'apertura superiore del tubo un imbutino di carta, che si assicura con refe e con cera, e si versano nell'imbuto alcune gocce di mercurio. Facendo riscaldare il bulbo, sinchè il mercurio, dilatandosi, si ricongiunga con quello aggiunto, si lascia poscia raffreddare, e il liquido, costipandosi, rientra nel tubo unitamente alla porzione colla quale si e ricongiunto.

VI. *Chiudimento del tubo.* Dopo aver regolata la quantità di liquido pel corso delle temperature cui deve servire il termometro, bisogna privare il tubo d'aria avanti di chiuderlo. Questo duplice scopo si ottiene con una sola operazione. Si espone il tubo, per l'estremità aperta, al dardo della fiamma promossa dal cannello avvivatore, e si riscalda sino al calore prossimo allo stato di liquefazione del vetro. Si riscalda nello stesso tempo il bulbo alla fiamma d'una lampada ad alcoole, e si regola il calore in modo che il mercurio, nel dilatarsi, giunga all'estremità del tubo al momento che il vetro si approssima allo stato di fusione. Allora si riunisce il vetro così rammollito e si

chiude il tubo, dove il mercurio per un'ulteriore dilatazione forma un piccolissimo rigonfiamento *a*, più o meno grande secondo che il liquido esercita più o meno pressione (fig. 113). Il liquido, raffreddandosi, si mette all'altezza *bc* corrispondente alla temperatura cui è posto, e lascia tutto lo spazio *ab* vuoto d'aria.

Vi ha chi consiglia di non privare del tutto d'aria il tubo, principalmente se è molto capillare, affinchè essa premendo sulla colonnetta liquida ne impedisca l'interruzione in più parti; ed Haüy è d'opinione di non espellere in ogni caso l'aria (1). Si adduce per ragione che i liquidi, anche sotto forze molto grandi, non sono compressi in quantità sensibile; per cui l'aria che si lasciasse nel tubo non opporrebbe un ostacolo valevole colla sua elasticità a ritenere più bassa la colonnetta liquida. Avanti di tenere per concludente questo ragionamento ho voluto consultare l'esperienza. Feci costruire due termometri a mercurio, ciascuno dei quali della lunghezza di 82 gradi ottagesimali sopra zero. L'uno di essi soltanto era interamente scevro d'aria che fu lasciata all'altro. Immersi nell'acqua bollente, ho veduto che, mentre il primo segnava ben presto 80 gradi, il secondo impiegò 5 minuti a salire ai 77, oltre il quale termine non si è mai più elevato se non quando si spezzò il tubo. Ritengo che l'opposizione dell'elasticità dell'aria non sia capace di produrre una compressione sensibile nel liquido, conoscendosi d'altronde la legge di questa compressione (§. 516); ma ritengo però che sotto quella pressione siasi prodotto un distendimento nel vetro e quindi un aumento di capacità nel tubo e nel bulbo, pel quale la colonnetta liquida rimaneva più bassa di tre gradi. La presenza dell'aria rende non solo lenti i moti del liquido nel termometro e pregiudica alla sua sensibilità; ma ne diminuisce ben anche le elevazioni. Gli effetti riesciranno minori quanto più il tubo è lungo e meno si eleva la colonnetta e minor quantità d'aria si lascia nel tubo. Ad ogni modo quest'aria concorrerà o poco o tanto a rendere il termometro meno perfetto ed esatto. L'intera espulsione dell'aria presenta altresì il vantaggio di far svanire il dubbio dell'ossidazione del mercurio, che altererebbe il volume del liquido. Nel caso che la colonna fosse interrotta in due o più parti e che le piccole scosse non fossero valevoli a riunirla, serve a tale scopo il moto di rotazione che s'imprime al tubo (§. 372).

(1) *Traité élémentaire de physique*, per Haüy, terza edizione. Parigi 1821, t. 1, pag. 175.

VII. *Determinazione dei punti fissi della scala.* È una delle operazioni più importanti per la costruzione del termometro. Quando questo strumento non dovesse servire alla valutazione numerica dei gradi di calore, a confrontarli fra loro nello stesso modo che si confrontano tutte le quantità, e fosse al contrario semplicemente destinato a notare i fenomeni dipendenti dal calorico; allora non farebbe mestieri la scala, e qualunque divisione sarebbe buona. Bisognerebbe però stabilire alcune convenzioni; bisognerebbe cioè che gli osservatori d'ogni paese scegliessero la stessa materia ed adottassero i medesimi segni, come per es. le lettere dell'alfabeto, diverse figure ecc. La sommità della colonnetta liquida percorrerebbe questi segni nello stesso modo che il sole percorre quelli dello zodiaco: la si vedrebbe generalmente verso i primi albóri del giorno incominciare il suo corso, elevandosi all'altezza massima nelle ore pomeridiane per ritornare ad abbassarsi sino all'alba del seguente giorno, e fare altresì un corso più o meno variato durante le quattro stagioni dell'anno. Laonde, per caratterizzare un fenomeno, per es., il gelo, il calore umano, quello della nascita dei bachi da seta, della fioritura di certe piante ecc., basterebbe notare i punti della colonnetta corrispondenti alle temperature proprie di ciascun fenomeno.

L'unità, adottata per misurare le temperature, è una parte aliquota del calore necessario a produrre la dilatazione del mercurio, esposto successivamente ai due fenomeni costanti del *ghiaccio deliquescente* e dell'*acqua bollente*. Hanno, è vero, influenza sui medesimi alcune circostanze, che si possono però ben definire e valutare affinchè avvengano sempre alle medesime temperature. D'altronde i due fenomeni si ottengono da chiunque in tutti i tempi ed in ogni luogo.

Il ghiaccio deliquescente, tanto artificiale che naturale, conduce sempre la colonnetta liquida del termometro a segnare lo stesso punto. Basta che esso sia fatto d'acqua pura per avere la temperatura di fusione fissa. Deve attribuirsi all'impurità se Parrot ha trovato lo zero del termometro comune, determinato col mezzo del ghiaccio del fiume Neva, di $\frac{1}{10}$ di grado ottagesimale più basso di quando impiegava il ghiaccio dell'acqua distillata (1). La fusione di altri corpi, come la cera ecc., presenta pure un punto fisso, ma il loro stato di omogeneità e di purezza riesce sempre incerto ed è difficile ad es-

(1) *Mémoire sur les points fixes du thermomètre*, Pétersbourg 1828, e *Bulletin de Férussac*, t. XIV, pag. 110.

sere stabilito, ed altronde le loro temperature, come punto inferiore della scala del termometro, non convengono pei bisogni della società e delle scienze. L'ebollizione dell'acqua presenta un fenomeno analogo: per quanto si avvivi il fuoco, si ha bensì un'ebollizione più rapida ed un'evaporazione più abbondante, ma la temperatura dell'acqua alla superficie rimane costante. Alla stessa pressione atmosferica in tutti i luoghi della terra, l'acqua distillata in ebollizione somministra sempre un'elevazione costante nella colonnetta del termometro. Altri liquidi presentano l'egual fenomeno, ma è difficile d'ottenerli allo stato di purezza e di omogeneità per mantenerlo costante. Nel corso di questo capitolo apprenderemo la ragione per cui il ghiaccio nel liquefarsi e l'acqua nel bollire presentano ciascuno una temperatura costante. Dobbiamo ora occuparci delle circostanze necessarie ad ottenere in ambidue i casi quei punti fissi di calore, e le cautele da seguirsi per segnarli sul tubo, onde avere la scala del termometro.

Non si creda che sia indifferente di prendere il punto della congelazione dell'acqua invece di quello della fusione del ghiaccio, giacchè il primo fenomeno avviene a temperature molto differenti secondo diverse circostanze difficili ad essere ben definite. Nella liquefazione del ghiaccio non ha influenza la pressione e l'agitazione dell'atmosfera, e in generale anche la temperatura dell'ambiente dove succede, come pure la quantità di neve o di ghiaccio tagliuzzato e la natura del vaso in cui si contiene; mentre tutte queste circostanze e parecchie altre fanno variare il punto di congelazione dell'acqua. La neve è più propria del ghiaccio a tale scopo, per essere formata dell'acqua distillata, che naturalmente s'innalza nelle regioni delle nubi.

Il termine inferiore della scala si segna riempiendo di ghiaccio ben pesto o tagliuzzato e meglio di neve il vaso AB, munito sul fondo della chiavetta C. In esso s'immerge il tubo T (fig. 214) disposto e preparato col suo liquido per la costruzione del termometro. Il vaso deve avere abbastanza profondità per poter immergere nel ghiaccio anche la porzione di tubo dove giunge il mercurio. Allorquando si è costretto a servirsi di ghiaccio invece di neve come nell'estate, si lascia che l'acqua di fusione riempisca gli intervalli che separano i pezzi del ghiaccio stesso. A misura che l'acqua aumenta si apre la chiave C per lasciarla scolare nel sottoposto vaso V. La condizione essenziale si è che il bulbo non sia a contatto nè con ghiaccio nè con acqua isolata, ma bensì di ghiaccio imbevuto d'acqua

oppure di neve pure inzuppata d'acqua. Bisogna a tal fine rimescolare con una spatola di legno od una bacchetta di vetro il ghiaccio o la neve. Affinchè il ghiaccio e la neve si fondano è necessario operare in un ambiente, la cui temperatura sia superiore allo zero. Si aspetta che la colonnetta liquida diventi stazionaria almeno per mezz'ora avanti di segnare sul tubo il punto di fusione. Questo punto si segna con pennellino o con la punta d'uno stecchetto intinto nella soluzione di cinabro o nell'inchiostro della Cina; dove poscia si fa un piccolo tratto col diamante o con una lima fina. Durante quest'operazione il tubo deve avere la posizione verticale conforme a quella che comunemente si dà al termometro nelle osservazioni. Che se si trattasse di termometri da tenere applicati orizzontalmente ad apparecchi, allora importa di segnare gli estremi della scala tenendo il tubo orizzontale, principalmente se è molto lungo; giacchè la colonnetta liquida varia in altezza secondo le diverse posizioni in causa della pressione più o meno grande che esercita sulle pareti interne del bulbo, il qual effetto può riuscire talvolta abbastanza sensibile.

Bisogna eziandio usar la precauzione di evitare l'influenza della luce diretta e diffusa, e del calorico irradiante da qualche fornello o camino, che possono dar luogo a qualche variazione nella giusta determinazione del punto inferiore, come fu trovato da Fontana e poscia verificato da altri fisici.

La determinazione dell'estremo superiore della scala termometrica richiede parecchie precauzioni, per avere sempre una temperatura costante nell'ebollizione dell'acqua: 1° che l'acqua sia ben pura; 2° che l'ebollizione succeda sempre sotto una determinata pressione dell'atmosfera; 3° che il vaso sia di tal natura da non influire sul grado d'ebollizione; 4° che il bulbo e tutta la parte del tubo, dove trovasi il mercurio, siano sottoposte al calore dell'acqua bollente per avere l'estremo superiore della scala.

L'acqua distillata bolle a pari circostanze sempre allo stesso grado di calore, e perciò bisogna escludere le acque dei pozzi, dei fiumi e in generale tutte le acque che contengono in soluzione delle sostanze eterogenee, per le quali s'aumenta il calore dell'ebollizione. L'acqua piovana e quella risultante dalla fusione della neve si trovano d'ordinario allo stato di purezza ed atte a supplire in alcuni casi all'acqua appositamente distillata. In secondo luogo l'acqua bolle a temperatura tanto più grande quanto più è forte la pressione dell'atmosfera misurata dal barometro (§. 639). Siccome poi questa pressione non solo varia da luogo a luogo secondo le altezze sul livello del

mare (§. 594), ma cambia da un giorno all'altro ed anche nello stesso giorno (§. 640); così era mestieri di stabilire sotto quale pressione doveva essere presa l'ebollizione dell'acqua. Si è convenuto pertanto di prendere la pressione indicata da 760 millimetri di mercurio nel barometro, che è la media di quella al livello del mare (§.595). Qualora al momento che si segna il punto superiore della scala termometrica, il barometro non indichi la pressione media convenuta, bisogna fare la correzione per l'errore che altrimenti ne risulterebbe nella temperatura stabilita, sapendosi che la differenza di millimetri ±26,7 dalla media di 760 corrisponde alla differenza di ±1 grado centesimale nella temperatura dell'ebollizione dell'acqua distillata. Fontana aveva già osservato intorno al terzo punto, e molto dopo venne confermato da Gay-Lussac e da altri fisici, che non è indifferente la materia del vaso per l'ebollizione dell'acqua a temperatura costante. Nei vasi di vetro, di porcellana ecc., l'acqua in ebollizione prende una temperatura un poco maggiore che in un vaso di metallo. Si è adottato perciò il vaso di metallo. Finora non si è trovato che la forma del vaso abbia qualche influenza sul punto d'ebollizioue dell'acqua, come pure la grandezza della bocca del medesimo, quando però non sia così angusta da ritardare l'uscita del vapore che si genera. Infine diremo che, per adempiere alla quarta condizione, bisognerebbe avere una quantità d'acqua che si elevasse nel vaso all'altezza eguale alla colonnetta liquida del termometro, per immergervi il bulbo ed il tubo verticalmente sino al punto ove giunge il mercurio. Siccome poi il grado di calore per l'ebollizione dipende dalla pressione sovrastante al liquido, la quale per gli strati inferiori eguaglia quella dell'atmosfera più il peso degli strati superiori; così il mercurio del bulbo, trovandosi circondato dall'acqua inferiore, proverà un calore più forte di quello contenuto nel tubo e si avrà un'ineguaglianza di riscaldamento nel liquido termometrico variabile secondo la lunghezza del tubo da essere graduato. Per quanto l'acqua acquisti coll'ineguale riscaldamento quei movimenti ascendenti e discendenti che la rimescolano, essi però non valgono, anche agitato il liquido artificialmente, a produrre l'uniforme temperatura in tutta la massa, e la differenza nella determinazione della temperatura di quell'estremo della scala può salire a qualche grado secondo la lunghezza del tubo, ed essere causa di errori rilevanti nella graduazione. Si è trovato il rimedio a tale inconveniente tenendo immerso il bulbo e il tubo, contenente il mercurio, nel vapore nascente alla superficie dell'acqua bollente, il quale possiede la stessa temperatura dell'acqua

stessa alla superficie. A tale scopo serve il vaso cilindrico molto profondo *abcd*, posto sul fornelletto *gh*, e riscaldato dalla lampada ad alcoole L (fig. 215). La porzione *abfe* è mobile a sfregamento entro l'altra porzione *efcd* per poter aumentare l'altezza del vaso secondo la lunghezza dei tubi termometrici da essere graduati. Sul fondo del vaso riposa l'acqua all'altezza di 2 in 3 centimetri, la quale è riscaldata dalla lampada L ed entra in ebollizione riempiendone ben presto di vapore l'intera capacità. I tubi da essere graduati sono applicati con tappi di sovero a fori fatti nel coperchio del vaso, e si internano più o meno nel medesimo secondo il punto cui in essi ascende il mercurio. Il vapore eccedente si evacua pel tubo superiore *m*, il quale è di tale grandezza da non impedirne l'uscita che può essere regolata con coperchi muniti di fori più o meno grandi. Si osservano i tubi, ed a misura che la colonnetta di mercurio s'innalza si spingono essi dentro nel vaso in modo che tutto il liquido termoscopico provi la temperatura del vapore, e quando l'altezza rimane stazionaria si attende circa mezz'ora per assicurarsi d'aver raggiunto il vero punto dell'acqua bollente, che si segna nella stessa guisa di quello inferiore. Il precedente processo è fondato sul principio che *il vapore d'un liquido bollente si distacca colla temperatura della superficie liquida da esso abbandonata.* Il quale principio fu posto in dubbio da alcuni fisici, ma il dubbio venne sciolto dalle sperienze e dalle considerazioni di Bellani e Belli (1).

Avendosi così i termini estremi corrispondenti a due temperature fisse, se ne divide l'intervallo in 80 parti eguali mettendo zero al *punto del ghiaccio deliquescente* ed 80 a quello dell'*acqua bollente*, e con ciò si ha il *termometro ottagesimale.* Dividendo invece il medesimo intervallo in 100 parti si ottiene il *termometro centesimale.* I gradi si prolungano d'eguale ampiezza al disotto dello zero per avere le temperature inferiori al ghiaccio, ed al disopra di 100 per la misura di quelle superiori all'acqua bollente. I numeri dei gradi al disotto dello zero si fanno precedere dal segno meno (—), e quelli al disopra col segno più (+), oppure si notano senza verun segno quando si sappia che le temperature siano superiori a quella del ghiaccio.

Nei termometri campioni e in quelli che si costruiscono con tutta l'esattezza si fa uso di un cannocchiale o d'una semplice lente per segnare giustamente gli estremi ed altri punti della scala. Nei termo-

(1) *Annali di fisica* più volte citati, t. XIV, pag. 263.

metri campioni, ed in quelli per le indagini della scienza, la scala è scolpita sul tubo di vetro : a tal fine si ricopre il tubo di sottile strato d'intonaco composto di mastice degli incisori e di cera, e si divide in gradi colla macchina apposita, i quali si segnano mettendo a nudo il vetro. Si espone poscia il tubo all'azione dei vapori d'acido fluoridrico, e bastano circa 20 minuti per la corrosione del vetro ed avere i tratti ed i numeri visibili ad occhio nudo sul vetro, quando si è levato il resto dell'intonaco. Negli ordinari termometri il tubo *ab* si applica sulla tavoletta CD su cui è scolpita la scala (fig. 216).

993. Nella graduazione del termometro bisogna aver riguardo ad un'imperfezione stata scoperta da Bellani or sono molti anni che sembra dipendere dalla lenta contrazione del vetro dopo essere stato esposto a forte calore (§. 976). Un gran numero d'osservazioni istituite molto più tardi da parecchi fisici, confermarono il fenomeno scoperto da Bellani (1). Dopo un certo tempo che il termometro è costrutto, si trova che lo zero si è elevato sul punto segnato in origine; talchè, immerso di nuovo nel ghiaccio deliquescente, il mercurio segna un grado e più sopra lo zero originario. Nel termometro a mercurio tenuto nei sotterranei della specola astronomica di Parigi, in quello del giardino botanico di Ginevra, messi alla prova nel ghiaccio deliquescente, si rinvenne elevato il punto della congelazione. Daniel ha verificato tale imperfezione in eccellenti termometri di Cavendish (2). Vi ha dunque una rimozione nell'estremo inferiore, che rende inesatto il termometro.

Flaugergues, supponendo che il fenomeno abbia luogo soltanto nei termometri chiusi e vuoti d'aria, lo attribuisce alla pressione dell'atmosfera sul bulbo non internamente controbilanciata (3). De la Rive e Marcet lo fanno dipendere in parte da tale causa e in parte da quella data da Bellani della lenta contrazione del vetro (4). Altri credono che possa essere attribuito ad una speciale proprietà del mercurio, non avendolo osservato nei termometri ad alcoole (5), Bellani però osserva che i termometri ad alcoole, a dimensioni più

(1) Si vegga, oltre lo scritto su citato di Bellani, anche l'altro di lui inserito nel *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli. Decade II, 1822, t. V, pag. 268; come pure il seguente t. VI, 1823, pag. 20, 217 e 274.

(2) *Annals of philosophy*, ottobre 1823.

(3) *Bibliothèque universelle* di Ginevra, t. XXVI, pag. 217, come pure t. XX, pag. 117.

(4) *Bibliothèque* ecc., fascicolo d'aprile del 1825, pag. 265.

(5) *Bibliothèque* ecc., t. XIX, pag. 62.

grandi delle ordinarie, manifestano sensibilmente una tale variazione; e le sperienze di lui mostrano che essa è affatto indipendente dalla privazione dell'aria e quindi dalla pressione atmosferica, e che sempre le parti del vetro dilatate in globi di pareti sottili, si riducono assai lentamente al volume naturale dopo un'elevata temperatura.

Qualunque ne sia la causa, importa di rimediare a tale inconveniente: Bellani consiglia di attendere, a fissare gli estremi della scala ed a graduare il termometro, almeno un anno dopo che è stato introdotto il liquido e chiuso il tubo, ed anche correggerli in seguito abbassando convenientemente il tubo. In generale si è trovato che un termometro, quando viene sottoposto a grandi variazioni di temperatura, è soggetto a tale inconveniente, ed è necessario quindi di verificare di tempo in tempo gli estremi della scala, onde correggerli se è d'uopo (1).

Sarà meglio perciò di determinare prima l'estremo superiore della scala e passare poscia a quello inferiore per evitarne lo spostamento. Da alcune prove da me fatte mi sembra che si eviti nel seguente modo lo spostamento dello zero. Dopo aver soffiato il bulbo, chiuso il tubo ed espulsa l'aria, si sottoponga il mercurio alla temperatura di 19 in 20 gradi centesimali sotto lo zero, alla quale si lasci per qualche tempo: con questo raffreddamento si toglie al vetro il calorico che l'abbandonerebbe con troppa lentezza. Segnando poscia i punti estremi si ha il termometro senza essere soggetto a quell'inconveniente (2).

Si è trovato altresì che le diverse qualità di vetri influiscono sull'esattezza del termometro. Quelli a bulbo di cristallo segnano quasi sempre di più di quelli a bulbo di vetro comune, quantunque posti nelle medesime circostanze e graduati collo stesso metodo. A temperature superiori all'acqua bollente il termometro di cristallo segna costantemente di più dell'altro, e la differenza, crescente colla temperatura, può ascendere a parecchi gradi, quando i due termometri sono portati a 250 od a 300 gradi (3).

994. L'ampiezza del grado dipende per lo stesso liquido dal rapporto fra il diametro del bulbo e quello del vano del tubo. Qualunque sia questo rapporto, quando in due termometri gli estremi della scala siano stabiliti nel modo descritto, essi sono esattamente comparabili;

(1) *Bulletin* di Ferussac, t. II, pag. 37.
(2) *Atti della prima riunione degli Scienziati Italiani*. Pisa 1840, pag. 6.
(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. X, pag. 32.

vale a dire che, esposti alla stessa temperatura, la sommità della colonnetta liquida indica in ambidue gli strumenti lo stesso numero di gradi per quanto gli intervalli fondamentali della loro scala siano di diverse lunghezze. Infatti due volumi diversi della stessa materia a zero temperatura, riscaldati egualmente, si dilatano in egual proporzione e il più piccolo mentre s'accresce per es. d'un centesimo, l'altro si accrescerà pure d'un centesimo di se medesimo, e gli accrescimenti del primo riusciranno piccoli in confronto di quelli del secondo. Per conseguenza due termometri a mercurio devono segnare egual numero di gradi sottoposti all'egual aumento di calore. Questo ragionamento però vale nella supposizione che il mercurio sia contenuto in inviluppi solidi della stessa natura; giacchè nei termometri non è la *dilatazione assoluta* del mercurio, che misura la temperatura, ma bensì la sua *dilatazione apparente*, vale a dire la differenza che esiste fra l'accrescimento di volume del mercurio e l'aumento di capacità dell'inviluppo di vetro. Se per es. l'inviluppo fosse più dilatabile del liquido in esso contenuto, gli accrescimenti di calore farebbero abbassare la colonnetta termometrica nel tubo invece di farla salire. Da ciò si ricava che i termometri per essere comparabili dovrebbero i loro inviluppi essere formati di vetri egualmente dilatabili. Questa condizione è soltanto indispensabile nei termometri ad un sol punto fisso (§. 990), ma in quelli, la cui scala ha due estremi di temperature costanti, la differenza di dilatabilità degli inviluppi di vetro è compresa nella dilatazione apparente del liquido tanto alla temperatura del ghiaccio deliquescente quanto a quella dell'acqua bollente, che sono i due estremi. Per cui, se vi ha diversità di dilatazione nella materia solida degli inviluppi, questa si ripartisce egualmente su ciascun grado della scala e i termometri riescono per tal modo fra loro comparabili.

995. I gradi del termometro si possono avere dunque dell'ampiezza che si desidera: quanto più è grande il diametro del bulbo e piccolo quello del vano del tubo, tanto più riescono ampii i gradi del termometro. In tal modo si sono costrutti degli strumenti il cui grado si poteva dividere ben anche in 100 e sino in 1000 parti e così ottenere i centesimi ed i millesimi di grado. Aumentando però di troppo la massa liquida termoscopica coll'ingrandire il bulbo, si rende lo strumento troppo lento alle variazioni delle temperature pel maggior tempo che richiede a prendere il calore. Fontana ha costrutto molti termometri a bulbi così piccoli, che qualcheduno giungeva appena al diametro di poco più di 2 millimetri (1 linea);

ma il tubo era di piccolissimo vano ed aveva la lunghezza di 22 a 27 e più centimetri (8 a 10 e più pollici. *È indicibile*, dic'egli, *l'uso in generale di questi termometri nella fisica e nella chimica atteso la facilità che hanno di sentire nel momento le più piccole impressioni di caldo e di freddo e di perderle all'istante* (1). Ed è con questi termometri che si accorse delle circostanze che facevano variare le temperature, cui avvenivano i fenomeni della fusione del ghiaccio e dell'ebollizione dell'acqua (§. 991). Lo stesso fisico fa conoscere inoltre d'aver costrutti dei termometri di met. 1 in 1,30 (3 in 4 piedi) di lunghezza. Qualcheduno di questi aveva il punto del gelo segnato alla metà del tubo, mentre in altri sulla stessa metà era segnato il punto dell'ebollizione. L'intera lunghezza di questi termometri non comprendeva che 4 gradi; talchè uno di essi era dell'estensione di 30 e più centimetri, per cui si poteva avere persino il millesimo di grado. Landriani ha costrutto pure dei termometri molto sensibili tanto per la poca massa del liquido termoscopico quanto per l'ampiezza del grado, che descrive in un suo scritto, dove fa conoscere il modo di servirsene e i vantaggi che se ne possono ritrarre (2).

996. Nell'osservare il termometro si devono usare alcune avvertenze: di mettersi coll'occhio allo stesso livello cui si trova la sommità della colonnetta liquida, onde non incorrere nell'errore della parallasse (§. 906); di non fiatare sullo strumento nè prenderlo colle mani per non alterarne la temperatura indicata. Allorquando si osserva il calore dell'atmosfera, bisogna collocare il termometro all'ombra verso il settentrione, dove non sianvi corpi che direttamente o per riflessione inviino raggi calorifici sull'istrumento, e tenerlo appeso isolato dai muri. La temperatura dei fluidi si esplora immergendo in essi lo strumento col bulbo e colla porzione di tubo occupata dal mercurio. I liquidi devono essere agitati per rendere uniforme il calore in tutta la loro massa.

Dovendosi osservare temperature molto differenti bisogna aver riguardo alla lentezza del vetro nel privarsi del calorico di cui è investito (§. 976), per cui sarà meglio incominciare da quelle meno elevate, oppure avere più termometri esattamente costrutti collo zero della scala diversamente situato.

Il termometro ci fa conoscere la vera differenza di calore di corpi,

(1) Si vegga l'opuscolo di *Fontana* citato al §. 991 nella lettera scritta ecc.

(2) *Descrizione d'un nuovo termometro estremamente sensibile*, di Landriani. Nel *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli, decade II, t. I, 1818, pag. 338.

che sarebbero giudicati erroneamente col semplice tatto: così i sotterranei sono più caldi nella stagione estiva che in quella iemale, quantunque i nostri sensi ci manifestino il contrario. Questo strumento è divenuto di gran pregio nelle scienze, nelle arti e nella società, essendo indispensabile in un gran numero di osservazioni e di sperienze per mettere a confronto le temperature dei corpi, che si impiegano; per stabilire quella cui avviene un dato effetto o fenomeno; e per determinare i cambiamenti che succedono in altri secondo il diverso calore cui sono sottoposti. Negli usi e nei bisogni sociali importa sovente di ricorrere a tale strumento per conoscere il calore conveniente alla stanza d'un ammalato, all'acqua d'un bagno; per regolare la temperatura degli ambienti dove si abita, o quella di una serra dove si anticipa la vegetazione di piante indigene o si conservano quelle esotiche. Esso serve a riconoscere il conveniente calore, per ottenere con felice esito uno dei prodotti principali della nostra industria, nelle camere e negli ambienti dove succedono le mute del baco da seta. Il termometro, come strumento di società, è consultato da un grandissimo numero di persone per seguire le variazioni di temperatura del fluido in cui continuamente siamo immersi e così necessario alla respirazione ed alla vita. Allorquando queste variazioni sorpassano i limiti ordinarii, l'indicazione del termometro diventa d'interesse generale, e il risultato, che ognuno ha osservato col suo strumento, è uno dei soggetti che formano ben tosto il discorso nelle conversazioni famigliari.

997. In alcuni luoghi la temperatura dell'atmosfera discende a molti gradi sotto lo zero, come a Pietroborgo nel 1836 di $-33°$, a Zlatoousta nel 1837 a $-43°$ ed a Niné-Taguilsk nel 1840 a $-46°$ centesimali (1), ed in altri anni a maggior numero di gradi. In quelle regioni il termometro a mercurio non servirebbe a notare in tutto il corso dell'anno le variazioni di temperatura, la quale è talvolta tale da gelare quel liquido. In questi ed in altri somiglianti casi si fa uso del termometro ad alcoole, la cui scala si segna per 20 in 25 gradi sopra e per altrettanti sotto lo zero col confronto di un buon termometro a mercurio preso per campione, e poscia si estende la graduazione al disotto sino a 70 e più gradi. In quest'operazione importa non solo di notare i punti estremi di quell'intervallo di 40 in 50 gradi e di dividerlo poscia in parti eguali per avere la graduazione

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, prima serie, t. I, pag. 182 e 184, come pure i medesimi, seconda serie, t. II, pag. 31.

e prolungarla oltre i 70 gradi sotto lo zero; ma bisogna segnare eziandio parecchi punti intermedii col confronto del termometro a mercurio, per la non uniformità di dilatazione dell'alcoole. In prova di ciò basta citare che il capitano Parry, nella sua spedizione al polo Artico, trovò, confrontando fra loro 10 termometri, tre dei quali a mercurio e sette ad alcoole, che la differenza della loro indicazione ascendeva a 4°,2 centesimali (7°,5 Fahrenheit) nell'intervallo compreso fra —30°,3 e —34°,4 centesimali (—22°,5 e —30° Fahr.). A temperature più elevate le differenze fra quei termometri erano assai poco considerabili (1).

Se il termometro a mercurio serve a misurare parecchie elevate temperature cui non giunge quello ad alcoole, il quale passa tanto più facilmente in ebollizione al disotto di 100 gradi, quanto più è raffinato; il termometro ad alcoole si rivendica del difetto prestandosi alla valutazione delle temperature molto basse ed inferiori allo zero, alle quali il mercurio gela. Affinchè il vantaggio dell'alcoole, di supplire al mercurio nelle basse temperature, non riesca illusorio e non conduca a deduzioni erronee, è d'uopo che i gradi inferiori allo zero del termometro ad alcoole siano segnati con punti di confronto del termometro a mercurio sino vicino alla congelazione di questo liquido.

998. In Europa e in America ecc., i termometri, che d'ordinario si usano, sono il centesimale e l'ottagesimale, anzi nei libri della scienza è per lo più il primo di questi: in Inghilterra però si adopera, tanto pei bisogni sociali quanto nelle opere scientifiche, il termometro di Fahrenheit. Interessa quindi di saper tradurre i gradi indicati da un termometro in quelli degli altri. L'intervallo compreso fra il ghiaccio deliquescente e l'acqua bollente è diviso rispettivamente nei due primi termometri in 100 ed in 80 parti, mentre nell'altro lo è in 180. Dunque le divisioni della scala di ciascun termometro staranno nel rapporto di 100, ad 80 a 180, ossia di 5, 4, 9. Si chiami con $a$ il numero dei gradi del termometro centesimali, con $b$ quello del centesimale, e si avrà la proporzione: $a : b :: 5 : 4$, da cui si deduce la relazione $4a=5b$. Denominiamo con $f$ i gradi del termometro di Fahrenheit, i quali pel confronto, bisogna che siano riferiti al punto di congelazione e levarne 32 (§. 989) per cui risulta $f-32$, che paragonati con quelli del centesimale si ha la proporzione $a : f-32 :: 5 : 9$, donde $9a=5(f-32)$ Istituendo infine il confronto con quelli dell'ottagesimale, si ottiene la relazione $9b=4(f-32)$. Si avranno dunque le tre

(1) *Edinburg Journal of sciences*, fascicolo di luglio 1824, pag. 185.

semplicissime formole per tradurre i gradi dati nella scala di un termometro in quelli di un altro come segue.

$4a=5b$, pel termometro centesimale ed ottagesimale;

$9a=5\ (f-32)$, pel termometro centesimale e quello di Fahrenheit;

$9b=4\ (f-32)$, pel termometro ottagesimale e quello di Fahrenheit.

Si abbia l'indicazione di 28 gradi ottagesimali e si voglia conoscere a quanto corrisponde di quelli centesimali; si avrà, sostituendo, dalla prima formola $a=35$. I giornali abbiano per es. annunziato che il massimo caldo, avvenuto in un dato anno nell'Inghilterra, sia stato di 94°, e si desideri di conoscere a quanti equivalgono del termometro centesimale: dalla seconda formola si ha $a=34°,44$. Il massimo freddo fatto in quell'isola sia stato per es. di 4°, e si domandi l'indicazione corrispondente al termometro ottagesimale: dalla terza formola si ha $b=-12°,22$.

Per facilitare la traduzione dei gradi, si sono disposte le tre scale termometriche in altrettante linee parallele colle divisioni comuni ogni 5 gradi del centesimale, 4 dell'ottagesimale e 9 di Fahrenheit: con una lamina comune a triplo nonio per ciascuna scala si conosce tosto a quanti gradi corrisponde dei due termometri l'indicazione dell'altro.

999. Non molti anni dopo che fu perfezionato il termometro, si pensò ad uno strumento che, in assenza dell'osservatore, notasse la massima e minima temperatura avvenuta in un dato intervallo di tempo per es. in un giorno; e la storia dei tentativi che si fecero, risale verso la metà del trascorso secolo e conta parecchi congegni più o meno stimabili, ma che per diverse imperfezioni furono abbandonati. Noi descriveremo quelli, che sono stati adottati per gli usi della società e pei bisogni della scienza.

Imaginò uno di questi strumenti Six, che fu poscia molto perfezionato da Bellani e Fioroni e chiamato *termometro ad indice* o *termometrografo* (1). Esso consiste, così perfezionato, in un tubo di vetro *abcd* (fig. 217) della lunghezza di 35 in 40 centimetri e del diametro interno di millimetri 1,5 ripiegato parallelamente a se stesso come rappresenta la figura. Ad una delle estremità termina in un cilindro *ab* ed all'altra nella palla *d*, ambidue di diametro interno decuplo all'incirca di quello del tubo. Il cilindro *ab* e la porzione *bp* del tubo sono pieni di alcoole, il quale serve di corpo termoscopico. La por-

(1) *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti* ecc. Milano 1798, t. xx, pag. 254; come pure *Nuova scelta d'opuscoli interessanti* ecc. Milano 1804, t. I, pag. 21, e *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli, t. IV, 1811, pag. 418.

zione *pcq* del tubo è piena di mercurio, in *qd* trovasi ancora dell'alcoole e la sfera *d* è vuota. Il tubo è chiuso ermeticamente come negli ordinarii termometri.

L'alcoole della capacità *abp*, dilatandosi, respinge la colonnetta di mercurio con cui è a contatto, facendolo discendere nel braccio *bc* e contemporaneamente salire nel braccio *cd*. La graduazione dei due bracci del tubo è eguale, se non che nel primo *bc* i gradi di caldo si contano da *o* verso *c*, e nell'altro *cd* da *o* verso *d*. Laonde gli aumenti di temperatura nel braccio *bc* sono segnati dall'abbassamento del mercurio, e nel braccio *cd* dall'elevazione del medesimo liquido. La scala è stabilita col confronto d'un termometro comune a mercurio sottoposti contemporaneamente a temperature successivamente crescenti e decrescenti.

Nelle due porzioni *bc*, *cd* del tubo si trovano in *f*, *g* due piccoli galleggianti di ferro terminati in globettino di smalto nero alla guisa dei comuni spilletti. Ciascun galleggiante ha attaccato superiormente tre o quattro corti crini, i quali, senza impedire l'ascendimento del galleggiante, al riabbassarsi del mercurio lo ritengono nel sito ove da questo fu spinto. Ora è chiaro che, aumentandosi la temperatura, il mercurio nel braccio *cd* ascende ed alza il galleggiante *g*; e diminuendo la medesima, il mercurio sale nel braccio *bc* e solleva il galleggiante *f*. Siccome ambidue i galleggianti rimangono nel luogo ove furono sollevati, e siccome in un braccio l'alzamento dinota diminuzione e nell'altro accrescimento di temperatura; così è chiaro che i galleggianti indicano colle loro basi l'uno la minima e l'altro la massima temperatura avvenuta nell'intervallo di tempo che si osserva lo strumento. I galleggianti si rimettono a contatto col mercurio nello stato di poter fare nuove osservazioni mediante una calamita.

In vece dell'alcoole sarebbe meglio impiegare l'olio di noce o di lino, oltre il mercurio come indice. L'olio impedisce meglio dell'alcoole il distacco del mercurio e la sua dilatazione d'altra parte si approssima di molto all'uniformità, il che non si verifica nell'alcoole.

1000. Un altro strumento di questa specie è il *termometro al massimo ed al minimo*, il quale, secondo Rutherford, consiste in due termometri *amb*, *fng* collocati orizzontalmente sulla stessa tavoletta verticale AB (fig. 218); il primo dei quali *amb* è a mercurio coll'indice in acciaio per le *temperature massime*, e l'altro *fng* ad alcoole coll'indice in ismalto per le *temperature minime*. I due indici scorrono liberamente nei rispettivi tubi e sono fatti come quelli del termometrografo, senza però aver congiunti i crini. Nel termometro

a mercurio la porzione di tubo, non occupata da questo liquido metallico, è piena di alcoole, e l'indice, mentre appoggia colla sua base sulla superficie della colonnetta di mercurio, è sommerso interamente nell'alcoole medesimo. Il termometro ad alcoole ha la porzione di tubo, non occupata dal liquido, piena d'aria rarefatta e l'indice interamente sommerso nel corpo termoscopico.

Avvenendo aumento di temperatura, il mercurio del termometro *amb* si dilata e sospinge l'indice, il quale, nel costipamento dello stesso liquido, rimane al posto dove è stato portato, notando ivi il calore massimo accaduto. Nella diminuzione della temperatura, l'alcoole del termometro *fng* si costipa e nel raccorciarsi la colonnetta liquida trae con sè l'indice di smalto, il quale rimane al posto dove è stato condotto al momento che il liquido ritorna a dilatarsi, e colla nuova posizione presa nota la minima temperatura avvenuta. Gli indici sono facilmente scorrevoli dentro i rispettivi tubi, e per ricondurli in istato da istituire nuove osservazioni, altro non si ha che a sollevare l'estremità B della tavoletta, facendola ruotare sulla mastiettatura C, nel qual movimento l'indice del termometro *amb* ricade pel suo peso sulla superficie del mercurio e quello del termometro *fng* cade egualmente sino a trovarsi colla sua base allo stesso livello della superficie dell'alcoole.

Questo strumento vien graduato mettendolo a confronto con un buon termometro a mercurio, portati alle medesime temperature. Esso nella costruzione richiede un'abilità speciale nell'artefice, onde non vada soggetto agli inconvenienti che si riscontrano in parecchi di quelli posti in commercio, nei quali gl'indici non rimangono esattamente al posto ove li spingono i cambiamenti di volume dei liquidi, i tubi non hanno il diametro abbastanza piccolo da impedire la separazione della colonnetta liquida, e infine l'aria non è abbastanza rarefatta da ovviare a false indicazioni (§. 992, VI).

1001. La poca capillarità, che si può dare ai tubi, e la grande quantità di liquido che bisogna impiegare, rendono i precedenti strumenti poco sensibili alle variazioni di temperatura. Landriani, conservando al termometro la semplicità dell'originaria sua costruzione e l'originaria sua sensibilità, l'ha fatto servire come strumento indicatore della massima e minima temperatura (1).

(1) *Descrizione di due termometri, che in assenza dell'osservatore uno indica il massimo e l'altro il minimo di calore* ecc. del cav. Marsilio Landriani; nel *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli, decade II, 1818, t. I, pag. 415.

*Il termometro ad indice* di Landriani consiste in una coppia BCD di tali strumenti a tubi molto capillari e ben calibri (fig. 219). Il bulbo B, nel termometro per la massima temperatura, è rivolto verso il basso e in quello per la minima verso l'alto. Essi terminano nell'estremità opposta in due piccole bolle C, D. Nel termometro al minimo, il tubo vicino alla bolla C è ripiegato parallelamente a se stesso; mentre nell'altro rimane diritto. La bolla C, nel termometro al massimo, ed il bulbo B, in quello al minimo, si riuniscono al rispettivo tubo sotto la forma d'imbuto. Il bulbo B e l'intero tubo come pure la bolla C sono pieni d'alcoole, il quale serve di corpo termoscopico, che dilatandosi, per l'aumento, di temperatura, trova adito nella bolla superiore D. Nell'interno di ciascun termometro vi sono chiuse altresì alcune gocce di mercurio, le quali in quello al massimo occupano d'ordinario la bolla C, e nell'altro al minimo il bulbo B. È facile d'introdurre porzione di questo mercurio nel tubo di ciascun termometro, riscaldando il bulbo B di quello al massimo e lasciandolo poscia raffreddare: l'alcoole, che per la dilatazione si era radunato nella bolla C, rientra nel tubo e caccia avanti di sè il mercurio *m*, il quale a guisa di valvola gli chiude l'adito. Tosto chè porzione del mercurio si è introdotta nel tubo, si capovolge lo strumento e si lascia progredire il raffreddamento. In tal modo il mercurio stesso prende, all'attuale temperatura dell'atmosfera, la posizione *e*: questo cilindretto di mercurio, che resta sospeso in mezzo all'alcoole nel vano angustissimo del tubo, serve d'*indice* del termometro. Per introdurre l'indice in quello al minimo, si raffredda il bulbo B e poscia si lascia riprendere all'alcoole la primitiva temperatura. Il liquido termoscopico, dilatandosi, sospinge il mercurio *n* e lo fa passare nel tubo. Tosto che una porzione di mercurio è introdotta nel tubo si capovolge l'istrumento, e si lascia che per l'ulteriore dilatazione dell'alcoole il mercurio prenda la posizione *f* voluta dall'attuale temperatura. I gradi segnati su ciascun tubo si stabiliscono col confronto d'altro termometro: in quello al massimo cominciano dalla bolla C e nell'altro al minimo del bulbo B.

I due strumenti sono in tal modo disposti per l'osservazione delle temperature massima e minima avvenute in assenza dell'osservatore. Non si ha altro che ad osservare la temperatura attuale col *termometro a mercurio di sussidio*, unito ai due al massimo ed al minimo, e gl'indici di questi due. Supponiamo che l'indice del termometro al massimo si trovi sul grado 17 e quello del minimo sul 13, essendo la temperatura attuale di +9°. Durante la giornata la temperatura si

accresce e giunge al suo massimo; in seguito va diminuendo e tocca il minimo. L'alcoole in queste variazioni si dilata nel primo termometro e l'indice *e* si avvicina al mercurio della bolla C; poscia si restringe e si abbassa l'indice *e*, che è seguito dall'altro cilindretto del mercurio, che parte da *m*, conservando fra loro sempre l'eguale distanza per quanto si accresca il freddo. In questa diminuzione di calore, l'indice *f* del termometro al minimo si avvicina a quello del bulbo B, e questo riavvicinamento continua sinchè ritorna ad alzarsi la temperatura, entrando allora nel tubo altro cilindretto di mercurio di quello *n* del bulbo. Osservando i due termometri dopo un dato spazio di tempo, per es. 24 ore, gli indici *e*, *f* si troveranno più o meno avvicinati ai cilindretti formatisi col mercurio *m*, *n*, e dai riavvicinamenti accaduti si deduce facilmente la massima e minima temperatura avvenute in quell'intervallo di tempo. Supponiamo che la distanza dell'indice *e* del rispettivo cilindretto siasi trovata di 10° e quella dell'indice *f* pure del rispettivo cilindretto di 5°. L'aumento di temperatura sarà stato di $17-10=7$, e la diminuzione di $13-5=8$. Per conseguenza la temperatura massima sarà stata di $9+7=16$, e la minima di $9-8=1$. Bellani insegna alcune pratiche per facilitare l'uso di questo strumento (1). Si noti che lo strumento di Landriani è stato imitato da alcuni fisici stranieri per esplorare le temperature crescenti o decrescenti di luoghi inaccessibili.

1002. In alcune indagini della scienza interessa di essere certi che le variazioni di temperatura non siano prodotte da cambiamenti avvenuti nell'ambiente o dall'influenza di causa estranea, piuttosto che dal fenomeno sul quale sono dirette le nostre investigazioni. A togliere tale incertezza servono il *termoscopio* di Rumford e il *termometro differenziale* di Leslie, pei quali si conosce la differenza della temperatura dell'ambiente da quella della sorgente, cui sono dirette le osservazioni.

Il termoscopio risulta da un tubo ben calibro CD terminato in due sfere cave A, B di vetro sottile (fig. 220), le quali sorgono ad angolo retto colle porzioni del tubo. Nell'interna capacità della sfera e del tubo è rinchiusa dell'aria alquanto rarefatta e piccola quantità di liquido colorato, che serve d'*indice* dello strumento, facendogli occupare lo spazio *mn*, il cui punto di mezzo corrisponda allo zero

(1) Si vegga la sua *Memoria sopra un nuovo termometrografo, ossia termometro per luoghi inaccessibili*, di Angelo Bellani, nel *Giornale di fisica* ecc., decade I, 1811, t. IV, pag. 89.

segnato sulla metà del tubo orizzontale CD. Per distribuire uniformemente l'aria nelle due porzioni di capacità serve il rigonfiamento E, dove si raduna il liquido al momento che si fa passare l'aria sovrabbondante dall'una all'altra sfera. Il tubo CD è fissato sopra una tavoletta orizzontale di legno portata dal piede P, su cui havvi segnato dalle due parti dello zero una scala divisa in centimetri e millimetri. Parallelamente ai tubi delle sfere si erige nel mezzo verticalmente la tavoletta di legno MN, che impedisce l'azione dell'una sfera sull'altra.

Sopravvenendo del calorico ad una delle sfere A, l'aria si dilata e sospinge la colonnetta liquida *mn*, la quale indica così coi suoi movimenti la presenza del calore differenziale, di cui è investita la sfera A in confronto della B. Al contrario succede nei movimenti dell'indice *mn* se si abbassa la temperatura della sfera A: l'aria in essa si costipa e l'indice viene sospinto in opposta direzione di prima. In questi movimenti l'aria della sfera più calda, sospingendo l'indice *mn*, si diffonde in maggior spazio e quindi si dilata diventando meno elastica; mentre quella contenuta nell'altra sfera viene ristretta in minor spazio ed aumenta la sua elasticità (§§. 606 e 607). Siccome la diminuzione della forza elastica da una parte va del pari coll'accrescimento dall'altra; così vi sarà un punto dove succederà l'equilibrio, e se non avvengono alterazioni nella temperatura l'indice rimarrà stazionario.

1003. Il termoscopio descritto è un semplice indicatore e non un misuratore della temperatura; al quale scopo si presta il *termometro differenziale* di Leslie. Esso si compone, come il precedente termoscopio, del tubo di vetro terminato in isfere cave A, B (fig. 221) del diametro da 1 sino a 2 centimetri col tubo ben calibro e pieno di liquido sino ai due terzi circa di ciascun ramo. L'altezza dell'istrumento, contata dal piegamento del tubo, è da 9 sino a 18 centimetri. Il liquido è colorato con carminio, e la sfera A che vien sottoposta all'azione del calore, si chiama la *senziente*. La scala si determina nel modo seguente: primieramente si riducono ambedue le sfere A, B all'egual temperatura e si nota o il punto dove giunge il liquido nel ramo del tubo della sfera senziente A; poscia s'innalza o si abbassa la temperatura della sfera A di 10 gradi centesimali, e si segna il punto cui giunge il liquido nel tubo, dividendo l'intervallo, da cui è separato dall'altro punto o, in 100 parti eguali. Con ciò si ha una scala, ogni grado della quale corrisponde al decimo di quello del termometre centesimale.

Il termometro differenziale è stato costrutto sotto diverse forme da qualche altro fisico, e lo stesso Leslie con alcune lievi modificazioni l'ha trasformate in istrumenti applicabili a diversi usi prendendo differenti nomi, come è del fotometro altrove descritto (§. 753) e dell'igrometro ad evaporazione (§. 637). Essi sono fondati tutti sul principio del termoscopio di Rumford, del quale si sono fatte in tal modo parecchie applicazioni. Alla medesima specie appartiene l'*etrioscopio* destinato a valutare la *limpidezza del cielo*, o propriamente l'irradiazione del calorico della terra verso le regioni del firmamento ed all'inverso. Esso somiglia al fotometro (fig. 22) colle due sfere di vetro poste sulla stessa verticale, l'una al disotto dell'altra. L'inferiore è coperta d'un inviluppo di legno rivestito di foglia dorata per guarentirla dal calorico irradiante dei corpi circostanti; la superiore, che è la senziente, occupa il fuoco d'uno specchio parabolico ben forbito nella superficie concava e verniciato esternamente. Quando il cielo è limpido e sereno, la terra, e per conseguenza la sfera senziente dell'etrioscopio irradia calorico verso le regioni del firmamento, e l'irradiazione è grandemente promossa dallo specchio metallico; talchè la sfera focale prende una temperatura inferiore all'altra e si ha l'indicazione di diminuzione di temperatura. Che se il cielo è coperto di nubi illuminate dal sole, l'irradiazione calorifica proveniente dalle regioni celesti è concentrata dallo specchio sulla sfera focale dello strumento, che indica in tal modo aumento di temperatura.

1004. Gli apparati precedenti hanno per corpo termoscopico l'aria al pari dello strumento di Galilei (§. 984), il quale si è cercato di trasformarlo, da semplice indicatore, in misuratore della temperatura. Il bulbo B è posto verso il basso come negli ordinarii termometri (fig. 222), ma ripiegandosi il tubo parallelamente a se stesso, il bulbo medesimo è rivolto all'insù. Esso è pieno poco più della metà di mercurio ed il rimanente d'aria rarefatta, e quel liquido si eleva in porzione del tubo, il quale superiormente è vuoto d'aria. Affinchè la colonnetta di mercurio non sia spinta dall'elasticità dell'aria ad occupare l'intiera lunghezza del tubo (§. 597), il rapporto fra il diametro del bulbo e quello del vano del tubo come pure la quantità d'aria sono tali che questa, portata alla temperatura dell'acqua bollente, non sollevi per la sua elasticità il mercurio ad occupare l'intera lunghezza del tubo medesimo. Laonde se la lunghezza AB del tubo è di 30 centimetri, l'aria nel bulbo deve essere così rarefatta che alla temperatura dell'acqua bollente non abbia forza elastica

bastante a tenere sollevata una colonnetta di mercurio di quell'altezza, onde il tubo non sia interamente riempiuto di liquido. La difficoltà di costruzione, l'adesione del mercurio alle pareti del vetro in confronto della grande compressibilità dell'aria, hanno fatto abbandonare l'idea di costruire uno strumento come misurature delle temperature, che avesse per corpo termoscopico quel fluido, e questa disposizione, tenendo aperto superiormente il tubo, è stata conservata come semplice termoscopio.

1005. Non solo la dilatazione dei fluidi liquidi ed aeriformi si è impiegata alla costruzione di strumenti indicatori e misuratori delle temperature; ma eziandio i corpi solidi e principalmente i metalli si sono adoperati colle loro dilatazioni a tal uso. Primieramente diremo che con lamine compensatrici, formate di due metalli dotati di differente dilatabilità (§. 979), si potrebbero costruire, come io ho costrutto, dei *termoscopi metallici*, i quali servissero ad indicare se le camere, dove comunemente si abita, hanno nell'inverno il grado di calore conveniente alla vita dell'uomo. A questi termoscopi si dà la forma che si desidera, per es., quella d'una figura di cartone, un cui braccio sia fatto colla lamina compensatrice, la quale, incurvandosi in un verso o nell'opposto dal punto indicante la media temperatura, dirigesse una bacchetta alla foggia d'indice sopra un quadro dove stanno scritte le parole: *ammorzate* — *temperato* — *avvivate*, e così la persona apprendesse da queste semplici indicazioni se deve diminuire nella stufa il fuoco, oppure lasciarlo com'è, o infine avvivarlo, secondo che nel primo o nel terzo caso la temperatura fosse troppo elevata o troppo abbassata nella camera. Questi termoscopi sarebbero di facile intelligenza a qualunque persona di servizio, una volta che avesse appreso il significato di quelle tre parole.

1006. Le lamine compensatrici furono impiegate alla costruzione di *termometri metallici*, i quali, se non si prestano ad usi così numerosi come i termometri a liquido, servono però con vantaggio in alcuni casi particolari per avere la temperatura dell'aria e dell'atmosfera. Breguet costrusse uno di questi strumenti, il quale può chiamarsi *termometro a lamina spirale* (1). Esso è composto di una lamina spirale cilindrica *ab* fatta d'argento, oro e platino (fig. 223). Il primo metallo è il più dilatabile e il terzo il meno, avendo l'oro una dilatabilità media fra questi due e servendo esso come di saldatura congiuntiva fra l'argento e l'oro. I tre metalli dallo zero a 100° si sa

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. v, pag. 312.

che si dilatano rispettivamente di $\frac{1}{524}$, $\frac{1}{661}$, $\frac{1}{1167}$, per cui si riuniscono assieme dapprima in un cilindro, che ha il diametro di circa 4 millimetri e che passato al laminatoio si riduce alla grossezza di millimetri 0,02, tagliandone delle liste della larghezza di 1 a 2 millimetri, colle quali si formano le spirali di questa specie di termometri. Dalla piccola massa del corpo termoscopico si comprende la prestezza con cui esso si mette alla temperatura dell'aria ambiente da cui è circondato, e quindi la grande sensibilità dello strumento. La spirale è attaccata alla sommità del sostegno d'ottone *pq*, dal quale pende isolata e libera, e porta all'estremità inferiore una lievissima lancetta od indice *ef*, la cui punta è scorrevole sulla periferia del cerchio graduato, che ha per centro il punto corrispondente al suo asse, L'aria può mettersi a contatto tanto colla superficie esterna della spirale quanto con quella interna, potendo liberamente circolare, non solo lungo l'asse, ma eziandio negli intervalli fra ciascun giro della spira.

Avvenendo aumento o diminuzione di temperatura, i giri della spirale si sbandano o si rinserrano per la maggiore dilatabilità dell'argento, formante l'interno della lamina, in confronto del platino che ne costituisce la superficie esterna. Il movimento così prodotto in ciascun giro si moltiplica pel numero dei medesimi e diventa considerabile all'estremità libera della spirale, dove è attaccato l'indice. In tal modo la punta di questo trascorre sulla periferia del cerchio uno spazio notabile ad ogni lieve cambiamento di temperatura. Col confronto d'un buon termometro a mercurio, esposto all'eguale calore della spirale, si segna la scala in gradi dell'istrumento e si ha così un termometro metallico, che può dare delle frazioni molto piccole d'un grado di calore.

Lo strumento di Breguet con una piccola aggiunta si è fatto servire eziandio come *termometrografo*. A tal fine nel cerchio graduato si pratica una cavità concentrica al cerchio stesso, dove si collocano due piccoli e lievissimi corsoi posti l'uno dal lato destro e l'altro da quello sinistro dell'indice. È chiaro che, quando questo si muove per un verso in causa d'un accrescimento di calore, spinge avanti di sè il corsoio corrispondente, il quale al retrocedere dell'indice per la diminuita temperatura rimane al suo posto e lascia segnato il massimo di calore avvenuto in assenza dell'osservatore. Lo stesso avviene pei movimenti dell'indice in verso opposto o per la diminuita temperatura riguardo all'altro corsoio, avendosi con ciò la temperatura

minima. Applicando questa disposizione al termometro, è mestieri che la spirale sia abbastanza forte, perchè l'indice non venga impedito ne' suoi movimenti dalla resistenza dei corpi (1).

1007. Sullo stesso principio Holzmann ha costrutto un altro termometro metallico, nel quale la spirale ha la forma semicircolare e somiglia, in quanto alla sua figura esterna, ad un orologio comune. Esso venne chiamato perciò *termometro tascabile*, e meglio *termometro a lamina circolare* (2). Questo strumento si compone d'una lamina compensatrice *abc* formata di due o tre metalli (fig. 224) come quella del termometro a spirale. La lamina è piegata verso il mezzo circolarmente e prolungandosi per la sua estremità *a* è attaccata e fissa alla zona circolare ABC somigliante a quella della cassa degli orologi da tasca, e per l'altra estremità *b* si congiunge colla leva di terzo genere *mon* mobile sul fulcro *o* che è fisso pure alla zona AB, e terminata all'altro capo da un arco dentato *mn*. I denti di questo arco imboccano con quelli di un rocchetto *r* girevole attorno al perno assicurato con traverse nel centro della zona. Il metallo più dilatabile della lamina o l'argento occupa l'interno della lamina ed il platino l'esterno. Da un lato della zona è applicata una calotta di smalto, su cui scorre l'indice congiunto col perno del rocchetto e coperto a distanza con un vetro d'orologio da tasca; dall'opposto lato lo strumento è chiuso da una calotta d'argento o da un vetro d'orologio.

L'aumento o la diminuzione di temperatura fa sbandare o restringere i due bracci della lamina, e nascere dei movimenti in uno o nell'opposto verso dell'arco della leva, pel quale si comunicano al rocchetto od all'indice, che li segna sulla calotta di smalto, come le ore ed i minuti dell'orologio. Lo strumento si gradua pure col confronto d'un termometro a mercurio esposti successivamente alle medesime temperature.

Questo strumento si riduce a termometrografo coll'aggiunta di due lancette mobili a sfregamento sul perno del rocchetto. L'indice è munito d'una punta radente il quadrante di smalto sul quale, trascorrendo l'indice, spinge avanti di sè in un verso o nell'opposto le lancette, che rimangono al sito dove sono state portate e segnano la massima e la minima temperatura. Le due lancette fanno lo stesso ufficio dei corsoi nel termometro a spirale.

1008. Gli strumenti, di cui sinora si è parlato, servono alla misura

(1) *Bulletin* ecc. di Ferussac, t. x, pag. 189.

(2) *Jahrbücher des K. K. polytechnischen Institutes in Wien*. 1819, t. I, p. 201.

di calori al disotto dell'ebollizione del mercurio, non prestandosi d'altronde i termometri a lamina compensatrice descritti che per temperature moderate. Si sono imaginati eziandio degli apparecchi destinati alla misura dei calori i più intensi, che sono designati generalmente sotto il nome di *pirometri*. Il platino, come il metallo più difficilmente fusibile, ha servito per la costruzione del pirometro. Guyton de Morveau, Daniell, Neumann e qualche altro costrussero dei pirometri con questo metallo; ma per la loro disposizione e forma non incontrarono accoglimento nelle scienze e nelle arti. Il più semplice pirometro di questa specie è formato d'una tavoletta AB d'argilla la più refrattaria e previamente sottoposta alla maggiore elevata temperatura possibile (fig. 225). In essa è praticata una scanalatura, dove è posta una verghetta di platino *ab*. Questa verghetta si appoggia da un capo *a* sul piano della scanalatura, mentre dall'altro è congiunta col braccio minore *om* della leva *mon*, il cui braccio maggiore *on* serve d'indice, che scorre sopra l'arco graduato *cd*. Il platino esposto al calore si dilata, e la tavoletta d'argilla, per la cottura cui previamente venne sottoposta, non prova che un cambiamento insensibile nelle sue dimensioni, per cui i moti per l'allungamento del metallo si comunicano alla leva, la quale col suo maggior braccio segna sull'arco i gradi del calore medesimo. Pei primi 200 e 300 gradi si stabilisce la scala col confronto d'un termometro a mercurio che si prolungano delle stesse dimensioni sull'arco, nella supposizione che il platino si dilati nell'eguale proporzione anche per le temperature più elevate.

Altri pirometri sono stati costrutti non solo col platino, ma eziandio col ferro, come i metalli più difficilmente fusibili. Il corpo termoscopico ha però l'inconveniente di non riprendere quasi mai il primitivo volume dopo essere stato tormentato a calori molto intensi, per cui i gradi non conservano verun rapporto esatto col termometro centesimale.

1009. Si è già notato che l'argilla, per l'umidità che contiene, si restringe quando è investita del calorico (§. 976). Su questa proprietà Wedgwood ha costrutto uno strumento per la misura delle temperature molto elevate, conosciuto sotto il nome di *pirometro di Wedgwood* ed anche di *pirometro ad argilla* e descritto da lui nelle *Transazioni filosofiche* della R. Società di Londra dell'anno 1784.

Consiste l'apparato di Wedgwood in un canale di metallo o di porcellana detto la *staza*, i cui orli rettilinei hanno in totalità la lunghezza di 240 decimi di pollice del piede inglese (centimetri 61), e

sono convergenti avendo ad un'estremità la distanza di 5 ed all'opposta di 3 di quei decimi. Le 240 parti eguali sono scolpite sull'orlo del canale e servono di gradi del pirometro, incominciando questa scala collo zero al principio della maggior apertura e così successivamente sino al numero 240 all'altra estremità. Per comodo nel trasporto la staza è divisa in due parti eguali *abcd*, *efgh*, alle cui estremità *cd*, *ef* il canale ha per conseguenza la medesima larghezza. Con argilla ben pura, che si passa per varii stacci fini, si forma una pasta mediocremente molle, e se ne riempie una forma cilindrica o canna di latta del diametro di mezzo pollice. Allorquando la pasta si è abbastanza indurita per formare un tutto consistente, si leva dalla canna il bastone d'argilla e si taglia in cilindretti lunghi circa due pollici. Questi cilindri, detti *pezzi a termometro*, si cuocono ad un moderato calore equivalente a 535° centesimali, e devono così cotti poter essere introdotti nella staza appena sino allo zero. Se fossero più lunghi si scemerebbero opportunamente, e se più corti si spingerebbero dolcemente sin dove si può, notandovi su d'un lato il numero dei gradi, di cui sono distanti dallo zero, i quali si sottraggono ogni volta che s'impiega uno di questi pezzi per misurare qualche temperatura.

Quando si vuole conoscere l'intensità del fuoco di un fornello, vi si mette un pezzo a termometro e vi si lascia per un tempo bastante a produrre il massimo restringimento possibile. Il si ritira dappoi lasciandolo raffreddare e s'introduce nel canale della staza, dove si osserva bene il numero della divisione cui si potè collocarlo: questo numero indica il grado di calore. Quando la materia, di cui si vuole esplorare il grado di calore, è soggetta a vetrificarsi od atta ad intaccare il pezzo a termometro, allora questo pezzo s'intonaca di luto di terra da crogiuolo.

Questo pirometro riescirebbe di maggiore vantaggio se nelle indicazioni fosse comparabile col termometro a mercurio. L'autore ci fa sapere che la scala del suo strumento incomincia dal calore visibile di pieno giorno e che è divisa in 240 gradi, ciascuno dei quali equivale a 130° Fahrenheit od a 72°,22 del termometro centesimale; inoltre che la prima divisione o il primo termine della scala corrisponderebbe a 1077° Fahrenheit od a 580,5 centesimali. L'ultimo termine è valutato da Wedgwood di 3277° Fahrenheit ossia di 1802,8 centesimali. Questi rapporti però sono incerti e non ben verificati; e Guyton, confrontandoli col suo pirometro a platino, avrebbe invece trovato che la prima divisione del pirometro ad argilla corrisponde

a 270° del termometro centesimale e che ciascun grado dello stesso pirometro equivale a 34° centesimali. Adottando l'ipotesi di Wedgwood per ridurre le indicazioni del suo pirometro in gradi del termometro centesimale, si avrebbe la relazione $72w+580=c$, dove $w$ esprime i gradi del pirometro e $c$ quelli del termometro,

A malgrado della non comparabililà dei pirometri, essi riescono utili alle arti ed ai processi dell'industria, dove non si richieggono valutazioni numeriche rigorose di temperatura, bastando soltanto delle indicazioni determinate di calore per ottenere un dato fenomeno, o per conseguire un certo effetto: Wedgwood ha trovato che l'ottone si fonde a 21, il rame a 27, l'argento a 28, l'oro a 32, il ferro e l'acciaio a 130, ed il platino a 170 gradi del suo pirometro. Il calore massimo delle ordinarie fucine fabbrili non è che di 125 gradi, essendo necessario il calore di 90 per ammollire ed incorporare delle piccole verghe di ferro e di 95 gradi per le maggiori. Si è trovato altresì che il maggior calore prodotto in un fornello a corrente d'aria fu di 160 gradi del pirometro ad argilla, e che in alcuni esperimenti, istituiti per ridurre gli ossidi metallici, i pezzi a termometro furono portati ben oltre ai 174 gradi. Siffatto pezzo aveva perduto 0,216 del proprio peso dopo l'operazione. Spallanzani fece uso di questo strumento per valutare il calore che la natura svolge nel seno del Vesuvio e dell'Etna.

1010. Altri metodi si proposero per misurare le temperature molto elevate. Achard di Berlino ha imaginato una specie di termometro, il cui tubo col bulbo sono fatti di porcellana ben cotta e translucida e il corpo termoscopico consiste in una lega facilmente fusibile composta di parti 2 di bismuto, 1 di stagno ed 1 di piombo. Questa lega alla temperatura ordinaria è solida ed incomincia soltanto a fondersi al calore dell'acqua bollente. Una volta che sia liquefatta si presta nel tubo di porcellana, come il mercurio nel tubo di vetro, alla misura dei calori i più intensi, non passando così facilmente allo stato aeriforme come quest'ultimo liquido.

Si costruirono anche dei pirometri aventi per corpo termoscopico l'aria contenuta in isfere cave di platino con lungo tubo, che colla sua estremità superiore comunicava con un liquido posto in cannello di vetro. Questa specie di pirometri non riescono di uso facile, e sono stati adoperati piuttosto per riconoscere la dilatazione di altri corpi pirometrici e dedurne le corrispondenti temperature espresse in gradi del termometro comune.

Prinsep ha impiegato come pirometro varie leghe diversamente

fusibili formate dall'unione in diverse proporzioni dell'*argento* col-l'*oro*, dell'*oro* col *platino* ecc. Ne esponeva dei piccoli pezzi entro vasi refrattari portati a temperature molto elevate, ed osservava quali di esse erano fuse, il che si riconosce dal cangiamento di forma che prendono. Dalle leghe che vengano fuse si deduce la temperatura, cui si sono sottoposte, dalla scala del loro grado di fusibilità previamente determinata in gradi col confronto del pirometro ad aria (1). Un altro metodo pirometrico si deduce dalla legge con cui si propaga il calorico in una verga conduttrice, di cui parleremo nella seguente sezione.

Nelle arti e nelle officine dell'industria si giudica approssimativamente, delle elevate temperature dei corpi, dal *colore* o dal *grado di arroventamento*, che essi prendono alle temperature medesime. Infatti i fabbri-ferrai giudicano in questo modo del calore dell'acciaio arroventato per regolare la tempra dei loro lavori. Elevandosi successivamente la temperatura dell'acciaio, esso prende, a misura che si aumenta il calorico, i colori seguenti: *giallo di paglia* — *aranciato* — *azzurro* — *quasi color d'acqua* — *color d'acqua*. Per altri corpi solidi la scala dell'intensità delle temperature incomincia col *rosso visibile soltanto nell'oscurità*, e poscia, aumentando il calore, passa al *rosso bruno visibile di giorno*; indi al *rosso ciliegia*, al *rosso vivo*, al *rosso di rosa*, al *rosso aranciato* ed infine al *rosso bianchiccio*. Alcuni valutano la temperatura indicata dal color giallo-paglia dell'acciaio di 200° centesimali, e quella dall'azzurro di 268°, dal quasi color d'acqua di 400°, e dal color d'acqua di 450°. Il rosso visibile all'oscuro sarebbe di 508° e il rosso-bruno visibile di giorno di 580°, portando il rosso bianchiccio a 900°.

Nel capitolo seguente vedremo come l'elettricità, promossa dal calore nei corpi, somministri un metodo per la misura delle più lievi e delle più energiche temperature.

1011. All'oggetto di esplorare la temperatura dei luoghi inaccessibili si sono imaginati i *termometri a versamento*. Allorquando si trattasse di riconoscere la temperatura d'un pozzo o d'una cisterna, si potrebbe far discendere nella profondità inaccessibile il termometrografo (§. 999), o il termometro al massimo ed al minimo di Ruterford (§. 1000), o meglio quello di Landriani (§. 1001). Ma per riconoscere la temperatura dei pozzi trivellati, i primi due strumenti sono troppo voluminosi, e i loro indici potrebbero, in causa di urti anche lievi, essere rimossi dalla loro posizione. Il terzo però posto

(1) *Philosophical Magazin*, nuova serie, t. III, pag. 129.

in un involucro conduttore del calorico potrebbe utilmente prestarsi al bisogno. Tuttavolta dobbiamo far conoscere eziandio qualche termometro a versamento, che sono gli strumenti i quali si adoprano d'ordinario a tale scopo.

Lo strumento più comodo per rintracciare se la temperatura cresce colle profondità internandosi nelle viscere della terra, consiste in un termometro comune, il cui bulbo cilindrico ed il tubo sono interamente pieni di mercurio. Dovendo esso misurare soltanto pochi gradi, l'ampiezza di questi è di alcuni centimetri. Si segna esattamente il punto del ghiaccio deliquescente e l'ampiezza del grado col confronto di un buon termometro a mercurio. L'estremità superiore del tubo si piega orizzontalmente e termina in un globettino G, dove si versa il mercurio nel dilatarsi la colonnetta liquida per l'aumento di temperatura (fig. 227). Al momento di farne uso, s'inclina convenientemente il tubo e s'introduce il mercurio del globettino G in tale quantità nel tubo da riempirlo esattamente, quando non lo fosse. Il tubo è collocato nella fenditura e fisso ad una laminetta d'ottone congiunta a viti ad una viera *fg* dello stesso metallo (fig. 228), nella quale è ritenuta con un tappo di sovero. Il bulbo resta in tal maniera liberamente sospeso lungo l'asse del telaio cilindrico *abcd*. I gradi sono scolpiti sulla laminetta unitamente allo zero, che corrisponde esattamente allo stesso punto determinato sul tubo coll'immersione nel ghiaccio deliquescente. Il globettino G resta nella montatura dello strumento nascosto di dietro alla laminetta. All'atto dello sperimento il cannello del termometro è coperto dal cilindro cavo di vetro T. Così disposto si cala l'apparato appeso ad una funicella nel foro della terra, di cui si desidera conoscere la temperatura a differenti profondità.

A misura che aumenta la temperatura, il mercurio si dilata e si versa nel globettino G. Si lascia nella posizione voluta per un certo tempo, affinchè le temperature si equilibrino, e poscia si estrae. La temperatura ritornando ad abbassarsi, il mercurio discende nel tubo e rimane superiormente uno spazio vuoto, che sarà misurato dai gradi dello strumento ed indicherà così l'aumento di temperatura.

Parecchi altri fisici imaginarono dei termometri a versamento per le indagini della geologia, fondati tutti sullo stesso principio. Dobbiamo qui rammentare quello di Bellani, descritto nel *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli, 1811, t. IV, pag. 89. Quando si trattasse di misurare la temperatura dell'acqua dei laghi, del mare a differenti profondità, la quale va d'ordinario diminuendo, il descritto termometro non serve e si fa uso invece di quello al minimo

di Landriani (§. 1001) o dell'altro di Bellani descritto nella succitata memoria. In tutti questi strumenti è necessario fare una correzione, senza la quale si giungerebbe a risultati erronei, ed è la diminuzione di volume che prende il bulbo in causa della pressione crescente colla profondità dell'acqua. Una tale correzione è fondata sui principii altrove esposti (§. 516).

1012. Avanti di dar termine a quanto riguarda la valutazione del calorico libero o della temperatura dei corpi, importa d'avvertire che la *nota zero* non indica nè più nè meno che lo stato calorifico del ghiaccio deliquescente, nè può mai significare che si abbia un'*assoluta esclusione di calorico* ossia lo stato d'un *corpo assolutamente freddo*. Tanto è ciò vero che ad ognuno è facile d'imaginare dei corpi più freddi del ghiaccio, e facilmente si comprende cho lo zero è soltanto la nota pel punto d'equilibrio del calore contenuto nel mercurio e quello contenuto nel ghiaccio. Anzi, giusta il parere di Dalton (1), l'intervallo dallo zero ai 100° centesimali non è che la 13ª parte circa dell'intervallo che separa lo zero attuale da quello dell'assoluta esclusione di calorico. Laonde, giusta questo supposto, il freddo assoluto corrisponderebbe a —1300° centesimali. Tale minima temperatura però non si ridurrebbe che a —750° centesimali prendendo la media delle speculazioni d'Irwine e Crawford.

Più recentemente Desormes e Clement (2), come pure Cayley (3) portarono lo zero assoluto di calorico o lo zero naturale a grad —266,66 centesimali. Infatti il rapporto costante, secondo essi, della contrazione e della dilatazione dei gas, come è l'aria, colla loro temperatura, sembra provare in questi due fenomeni la relazione della causa e dell'effetto, e l'uno può servire di misura all'altra. Sapendosi che per ciascuna variazione d'un grado centesimale il volume totale d'un gas varia di $\frac{1}{266,66}$, se si suppone che il gas siasi condotto 266,66 gradi centesimali al disotto dello zero attuale, ogni ulteriore contrazione dello stesso gas sarà impossibile giunto a tal punto, le molecole saranno a contatto e tutto il calorico libero sarà scomparso. Se si oppone che le cose non si passano in tal maniera pei vapori, i quali d'altronde si dilatano colla medesima regolarità dei gas; si può ri-

(1) *Bibliothèque britannique*, t. XL, pag. 296.

(2) *Détermination expérimentale du zero absolu de la chaleur et du calorique spécifique des gas*, nel *Journal de physique*, t. LXXXIX.

(3) *Annals of philosophy and physical Magazin*, fascicolo di febbraio 1825, pag. 91.

spondere, giusta i sullodati fisici, che nei vapori l'attrazione molecolare non è vinta come nei gas, ed è per essa che si determina il passaggio dei vapori allo stato liquido. Pare dunque che, secondo la legge della dilatazione dell'aria e dei gas, lo zero assoluto si trova —266,66 gradi centesimali al disotto dello zero attuale.

1013. La rarefazione o la dilatazione dei corpi, di cui ci siamo sinora intrattenuti, non è che il primo grado d'abbattimento della coesione in virtù del calorico. Crescendo l'azione del calorico gli effetti dell'attrazione molecolare vanno scemando e si giunge al punto in cui sono appieno distrutti. A questo termine succede appunto il passaggio dei solidi in liquidi e di questi in aeriformi, labili o permanenti, secondo che il calorico si unisce solo per aggregazione o vi si combina per chimica forza, vale a dire secondo che esso diventa latente o combinato. È sotto questo punto di vista che il calorico si presenta come causa della *fusione*, dell'*evaporazione*, e della *gazificazione*; succedendo la prima quando il solido passa allo stato liquido, avendosi la seconda lorchè un liquido viene trasformato in fluido aeriforme in modo però da essere ricondotto allo stato primitivo mediante una fisica o mecanica azione, e verificandosi infine la terza quando una materia prende lo stato aeriforme così da non poter riassumere la forma primitiva se non in virtù di chimiche forze. L'acqua offre l'esempio completo di tali *mutazioni di stato*: mano mano che cresce il calore, il ghiaccio si fonde, l'acqua risultante passa in vapore e i vapori si gazificano in parte posti in circostanze opportune (§. 727). Questi cangiamenti non sono facili del pari nelle diverse materie, poichè vario è in esse il vigore della coesione e dell'affinità. Tali mutazioni di stato sono in generale tanto più difficili quanto più è grande la forza, con cui le molecole e gli atomi stanno fra loro congiunti; esse sono inoltre dipendenti da altre cause, fra le quali la più o meno grande attitudine che hanno i corpi di contenere in sè il calorico, di cui ci occuperemo nella seguente sezione. *Ciò che qui interesssa di esaminare si è che nei successivi passaggi da solido a liquido e ad aeriforme viene assorbito calorico, che si fa latente e cessa d'essere libero.*

1014. Primieramente diremo che il ghiaccio, nel liquefarsi, assorbe tanto calorico che un chilogrammo del medesimo a zero, mescolato con egual quantità d'acqua a 79° centesimali, ritiene la temperatura di prima e si hanno due chilogrammi d'acqua liquida a zero (1). Pare

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 70.

quindi ragionevole di conchiudere che i 79° di calorico, scomparso nella liquefazione, furono assorbiti dal ghiaccio fuso per un'accresciuta attitudine acquistata a contenerlo nel passare dallo stato concreto a quello di liquido. Quando la temperatura dell'ambiente, dove si compie quell'operazione, è di pochi gradi al disopra dello zero, l'acqua calda perde del suo calorico durante il tempo della mescolanza; inoltre anche il vaso si riscalda a scapito del calorico dell'acqua: è necessario quindi per ottenere un risultato prossimo all'annunziato fare alcune correzioni, di cui ci occuperemo più avanti.

In generale il calorico assorbito da un solido nell'essere fuso si chiama *calorico di liquidità*, e non solo l'acqua ne è dotata, ma tutte le materie in tal passaggio ne assorbono. Le determinazioni esatte del calorico di liquidità riguardano principalmente l'acqua come il corpo più abbondantemente sparso in natura, e poche esperienze rigorose si posseggono intorno alle altre materie. Da alcune indagini istituite da Black si ha che un chilogrammo di spermaceti, fusibile a circa 50° centesimali, assorbe tanto calorico capace di liquefare chilogrammi 1,1 di ghiaccio a zero; che un chilogrammo di cera, il cui punto di fusione è di 64°, assorbe tanto calorico da liquefare chilogrammi 1,5 dello stesso ghiaccio; infine che l'egual quantità di stagno, fusibile a 230° dello stesso termometro, prende latente tanto calorico da liquefare chilogrammi 3,7 di quel ghiaccio. Il piombo invece nel passare allo stato liquido assorbe 30° di calorico, vale a dire tanto da elevare di 30° una massa dello stesso metallo al disopra del suo punto di fusione, che è di 334°. Il mercurio passando dallo stato solido a quello di liquido assorbe 85° di calorico dello stesso termometro, ossia tanto da elevare l'eguale quantità dello stesso liquido di 85° al disopra del suo punto di fusione che è di —39°, vale a dire di portarlo alla temperatura di 85—39=46°. Lo zinco ne assorbe 274°, ossia il calorico, che si fa latente nella sua fusione, è tale da innalzarne l'eguale quantità di 274° al di sopra del punto della fusione medesima, che succede a 360°. In quanto allo stagno, riferendo il suo calorico di fluidità a questa maniera di valutazione, si trova ch'esso sarebbe capace di elevare di 278° pure centesimali l'eguale quantità dello stesso metallo al disopra del suo punto di fusione, che è di 230°. Il calorico di liquidità del bismuto, valutato nella stessa maniera, risulta di 305°,5, quello della cera di 87°,2 e quello del solfo di 9°,8 (1). Questi ri-

(1) *Principes de l'art de chauffer* ecc., par Tredgoll, tradotto dall'inglese da Duverne. Parigi 1828, pag. 409.

sultati però non si devono ritenere d'esattezza eguale a quello ottenuto per l'acqua, sperimentata in diversi tempi da parecchi fisici con apparecchi sempre più perfezionati, per la quale si giunse al numero surriferito. Venne altresì determinato il punto di fusione del fosforo col calorico che si fa latente in tal cambiamento di stato: il primo è di 44°,2 in 45° centesimali e il secondo è poco più di 5 volte quello dell'acqua (1).

Precedentemente, parlando del pirometro ad argilla, abbiamo dato il punto di fusione di alcuni metalli in gradi di quello strumento (§. 1010); ora nel quadro seguente aggiungiamo in gradi centesimali il punto di fusione di alcuni altri corpi, notando che i metalli tunsteno, cromo, molibdeno e colombio si fondano alla stessa temperatura del platino.

| CORPI | FUSIONE | CORPI | FUSIONE |
|---|---|---|---|
| Argento . . . . . | 538° | Iodio . . . . . . | 107° |
| Antimonio . . . . | 432 | Lega 1 piombo, 1 stagno e 2 bismuto . | 100 |
| Zinco . . . . . . | 360 | Lega di 4 bismuto, 1 piombo ed 1 stagno | 94 |
| Piombo . . . . . | 334 | Fosforo . . . . . | 45 |
| Bismuto. . . . . | 256 | Acido stearico . . . | 70 |
| Stagno . . . . . . | 230 | Cera bianca . . . | 68 |
| Lega di 5 atomi di stagno e di 1 di piombo . . . . | 194 | Cera non bianca . . | 61 |
| Lega di 2 di stagno ed 1 piombo . . . | 196 | Acido margarico . . | 58 |
| Lega di 1 stagno ed 1 bismuto . . . . | 141 | Stearina . . . . . | 41 |
| Lega di 1 piombo, 4 stagno e 5 bismuto | 119 | Spermaceti . . . . | 49 |
| Solfo . . . . . . | 109 | Sego . . . . . . | 34 |
| | | Ghiaccio . . . . . | 0 |
| | | Olio di trementina . | —10 |
| | | Mercurio . . . . . | —39 |

Si comprende come, una volta sia incominciata la fusione, la parte liquida conserva sensibilmente la medesima temperatura sinchè dura la fusione della parte rimanente, ed è per la stessa ragione che si con-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVIII, pag. 40.

serva costante il punto inferiore della scala termometrica (§. 992). Possiamo dunque in generale annunziare che le condizioni per la fusione dei solidi sono: 1° *la stabilità di temperatura*; 2° *l'assorbimento di calorcio che si fa latente*. Apprenderemo in seguito altre circostanze, oltre la coesione, che rendono i corpi fusibili a differenti gradi di temperatura. Qui noteremo soltanto che parecchi solidi, composti di materie facili a cambiare stato e di altre difficili a fondersi, si separano nei loro componenti senza passare allo stato liquido per l'azione del calorico. Tali sono le sostanze vegetali ed animali, le quali, essendo composte di carbonio e di elementi gazosi, si decompongono sotto l'azione del calorico passando questi elementi allo stato aeriforme, e rimanendo il carbonio allo stato solido. Alcune però di tali materie si sono liquefatte sotto forti pressioni per impedire l'aeriformazione degli elementi gazosi.

1015. Un fenomeno analogo succede nei liquidi che passano allo stato aeriforme, e un corpo che si trasforma in vapore od in gas assorbe molto calorico, il quale cessa d'essere libero non diventando più sensibile agli oggetti circostanti direttamente a contatto col corpo medesimo così trasformato. In prova di questa verità prendiamo ad esempio l'acqua. Si abbia un vaso pieno di questo liquido riscaldato al punto dell'ebollizione, al quale esso passa in vapore: si osserva che, per quanto si avvivi il fuoco al disotto del vaso, il calore dell'acqua non aumenta facendosi soltanto più abbondante l'evaporazione. Bisogna dunque conchiudere che il nuovo calorico sopraveniente all'acqua è assorbito da questo liquido nel trasformarsi in vapore. Il fenomeno si verifica eziandio in tutti gli altri liquidi che evaporano, quantunque la loro ebollizione succeda a differenti temperature ed assorbano una differente dose di calorico secondo la loro natura. Nella scuola si può provare l'assorbimento di calorico nell'evaporazione in quest'altro modo: s'immerga il bulbo d'un termometro sensibile nell'acqua o meglio nell'alcoole o nell'etere o in altro liquido facilmente evaporabile, e poscia si estragga onde lasciare che si trasformi in vapore il velo liquido di cui è rivestito, promovendone ben anche il passaggio colla ventilazione, con cui si leva all'intorno il vapore già formato e si facilita così a formarsene di nuovo. In questo passaggio il termometro indica abbassamento di temperatura e quindi assorbimento di calorico. L'esperimento riesce ancor meglio servendosi del termoscopio (§. 1002), una cui bolla sia rivestita di un pannolino o d'un involucro spugnoso inzuppato d'un liquido, il quale nell'evaporare assorbe calorico obbligando l'indice dello stru-

mento a moversi verso la bolla medesima raffreddata. Il fenomeno riesce tanto più sensibile quanto più il liquido è facile ad evaporare, facendosi in tal caso l'assorbimento con maggior celerità: è appunto per tal motivo che si disse essere l'alcoole e l'etere migliori dell'acqua pel conseguimento dell'effetto, éd ancor meglio di tutti il solfuro di carbonio detto alcoole di solfo di Lampadio, e l'acido solforoso liquido per la grande rapidità con cui questi liquidi passano in vapore. Marcet presentò i risultati di alcune sperienze istituite coll'ultimo liquido, di cui era imbevuto un tessuto spugnoso che inviluppava il bulbo d'un termometro: la temperatura da +67° si abbassò a —8° della scala di Fahrenheit, vale a dire da +19°,44 a —22°,22 della centesimale. Nel vuoto l'evaporazione essendo più celere (§.612), il termometro centesimale da +29° discese a —58° e in alcuni casi sino a —63°. Sperimentando con termometri a mercurio, questo liquido è gelato (1).

Il calorico, che diventa latente nei liquidi pel loro passaggio allo stato aeriforme, chiamasi *calorico di aeriformazione* o *d'elasticità*, oppure *calorico elastificante*. Ma quale è la quantità di questo calorico pei diversi fluidi e principalmente dell'acqua, la quale più d'ogni altro interessa di conoscere? Per apprendere quanto calorico si fa latente nell'acqua, che passa in vapore, si può istituire la seguente sperienza di Black. Prese egli due piattelli di stagno contenenti una tenue quantità d'acqua a 10° centesimali, e li collocò sopra una piastra di ferro rovente. In 4 minuti l'acqua incominciò a bollire ed in 20 fu del tutto evaporizzata. Nel tempo dunque di 4 minuti quella piastra potè comunicare 90° di calorico in ragione di 22°,5 per ogni minuto. Supponendo quindi che il calorico agisca collo stesso vigore durante tutti i 20 minuti, si deduce che si comunicarono all'acqua e si fecero latenti, nel vapore risultante, 450° di calorico, ossia quattro volte e mezzo tanto calorico quanto è mestieri per elevare l'acqua dallo zero a 100° centesimali. Quantunque con esperienze consimili si valuti in una maniera diretta la quantità di calorico che si fa latente nell'acqua trasformata in vapore; tuttavolta non si perviene con esse a risultamenti molto esatti. Serve invece per tali indagini il metodo inverso, col quale si valuta la quantità di calorico, che emette un dato peso di vapore nell'essere condensato in liquido. Questo calorico infatti, che diventa libero nella liquefazione del vapore, pare doversi attribuire a quello ch'esso ha assorbito e tiene latente nel

(1) *Bibliothèque britannique des sciences et arts*, 1812, t. LV, p. 166 e 353.

passare allo stato aeriforme il liquido di cui è formato. È appunto all'appoggio di sperienze istituite con questo secondo metodo che i fisici unanimamente ritengono che l'acqua, nel trasformarsi in vapore, assorbe tanto calorico che sarebbe capace di riscaldare da zero a 100° il peso dello stesso liquido equivalente a 5,5 quello del vapore acqueo medesimo, ossia di un solo grado il peso di 550. Ritorneremo sull'argomento in una delle seguenti sezioni; intanto conchiuderemo che il vapore acqueo, al momento della sua formazione, si trova alla medesima temperatura del liquido da cui nasce, ma a peso eguale esso contiene una maggiore quantità di calorico in virtù di quello assorbito e ritenuto latente.

L'alcoole nel passare in vapore assorbe meno calorico dell'acqua; quello della densità 0,793, che bolle alla temperatura di 78°,8 centesimali, assorbe tanto calorico da elevare di un grado il peso dello stesso liquido equivalente a 331,9 quello del vapore alcoolico medesimo. L'etere solforico, che bolle a 35°,5, assorbe tanto calorico da elevare in peso dello stesso liquido equivalente a 174,5. Infine l'essenza di trementina, che bolle a 157°, assorbirebbe passando in vapore tanto calorico da innalzare d'un grado il peso dello stesso liquido eguale a 166,2 quello del vapore. Ridotto il calorico assorbito alla quantità d'acqua ch'esso è capace di elevare d'un solo grado e ritenuto che per l'acqua stessa la detta quantità è di 550, si trova per l'alcoole 207,7, per l'etere 90,8 e per la trementina 76,8.

1016. Nel passaggio dei liquidi in vapore vi ha influenza la pressione naturale dell'atmosfera o qualunque altra forza, che impedisca alle molecole di sollevarsi dalla massa. Quand'anche le molecole liquide non siano riscaldate al grado d'avere una forza bastante per vincere l'ostacolo della pressione atmosferica, passano però insensibilmente allo stato aeriforme e saturano di vapore lo spazio circostante. Ed è per ciò che altrove si distinsero due maniere differenti d'evaporazione (§. 612). Nell'ebollizione i vapori si formano eziandio nell'interno della massa liquida, e la forza elastificante ha da vincere la coesione unitamente alla pressione atmosferica ed a quella degli strati superiori. È per questo motivo che si richiede più di calorico ad evaporare gli strati liquidi inferiori, di quelli alla superficie, e che la temperatura della massa liquida cresce colla profondità. Da ciò si comprende come siasi adottato di stabilire il punto superiore della scala del termometro immergendolo nel vapore piuttosto che nell'acqua in ebollizione (§. 992, VII).

1017. Allorquando si esamina un liquido in ebollizione, si vede in

generale un movimento più o meno rapido che agita e rimescola le diverse parti per ogni verso; ma quando il vaso è di vetro si riconosce la causa sempre mutabile, che produce quei movimenti. Bollicine di vapore si formano al fondo del vaso, cui è applicato direttamente il fuoco, si elevano nella massa in virtù della loro minore densità e, giunte ad una certa altezza, scompariscono nel mettersi a contatto con istrati non ancor sufficientemente riscaldati per essere convertiti in vapore, dai quali vien loro levata porzione del calorico per cui ritornano allo stato liquido. Una volta però che gli strati superiori abbiano acquistato la conveniente temperatura per essere convertiti in vapore, allora tutta la massa si mette in ebollizione ed essendo superata la pressione dell'aria circostante, il fenomeno continua a misura che sopravviene altro calorico a riscaldare il liquido. *La prima condizione dunque per l'ebollizione dei liquidi si è che il calore sia capace di vincere non solo la coesione ma eziandio la pressione, che gravita sulla massa liquida medesima. La seconda condizione poi,* come si è veduto precedentemente, *si è che il vapore trovi calorico bastante alla sua formazione.* Dalla prima condizione risulta che, variando la pressione, varia del pari il grado di calore per l'ebollizione; e dalla seconda si ricava che la rapidità dell'ebollizione dipende dalla dose di calorico fornito al liquido in un dato tempo, per la quale ha luogo la trasformazione di maggiore o minore quantità di liquido in vapore.

Il punto d'ebollizione d'un dato liquido può variare in causa: 1° *della pressione esercitata sul liquido*; 2° *della coesione del liquido medesimo*; 3° *della natura del vaso dove succede l'ebollizione;* 4° *della profondità cui si trovano nella massa liquida gli strati che devono essere trasformati in vapore;* 5° *delle sostanze sciolte nel liquido, le quali influiscono sulla coesione delle sue molecole.* Noi andremo successivamente esaminando tutte queste cause nei paragrafi che seguono.

1018. La pressione atmosferica non ha influenza sensibile sulla liquefazione, ma nel passaggio allo stato aeriforme essa v'influisce così che, crescendo, si rende necessario un maggior calore per vincere quell'ostacolo. Una volta che questo sia superato, il calorico trasporta con sè le particelle liquide, diventa latente e le converte in fluido elastico. L'esperienza dimostra quanto influisca la pressione sul fenomeno: infatti l'acqua posta nel vuoto, ossia sottratta alla pressione atmosferica, bolle tanto più facilmente ed a minor grado di calore quanto più il vuoto è perfetto. Laonde, spingendo quanto più si possa l'estrazione dell'aria dal recipiente pneumatico, l'ebollizione

dell'acqua si ottiene alla temperatura di pochi gradi sopra lo zero. È questa la cagione per cui, salendo sugli alti monti, l'acqua bolle a temperature inferiori a 100° e tanto più al disotto di questo punto quanto più è grande l'altezza cui si è salito. Discendendo al contrario nelle profonde valli ed al livello del mare rendesi necessario per l'ebollizione un grado di calore crescente colla profondità. La colonna d'aria sovrincumbente diventando sempre più corta o più lunga mano mano che si sale o si discende (§. 595), fa sì che la pressione scema o si accresce in modo da influire sensibilmente sul fenomeno in discorso. Saussure, salendo sul Monte-Bianco ad alcune migliaia di metri sopra il livello del mare, trovò che l'acqua bolliva ad 84° centesimali. D'altronde abbiamo già veduto che i liquidi a lieve temperatura si trasformano ben presto in vapore nel vuoto pneumatico (§§. 612 e 1015); e da qui apprenderemo eziandio come sia stato necessario di stabilire la media pressione al livello del mare nell'ebollizione dell'acqua per l'estremo superiore del termometro.

L'acqua bollente non ha dunque l'eguale temperatura in tutti i luoghi della terra, perchè non tutti si trovano alla stessa altezza sul livello del mare e non presentano l'eguale pressione atmosferica, da cui dipende il grado di calore necessario all'ebollizione. Nello stesso luogo la pressione prova altresì delle continue variazioni (§. 649), per cui dall'uno all'altro mese, dall'uno all'altro giorno può subire qualche cambiamento il grado di calore necessario alla bollitura dell'acqua. La differenza, dalla temperatura cui bolle alla media pressione, può ascendere per tali variazioni a qualche grado. Da qui si apprende come in luoghi, posti ad elevazioni molto differenti sul livello del mare, l'acqua, bollendo a temperature diverse, non si presta egualmente alla cottura degli alimenti e ad altri usi domestici, come pure ai bisogni di alcune arti, ed è in questo senso soltanto cui si potrebbe attribuire all'*aria* la non riuscita di un'industria manifatturiera.

Wollaston ha imaginato un termometro molto sensibile, che segna soltanto i gradi vicini all'ebollizione dell'acqua. Con questo strumento, osservando la temperatura dell'ebollizione di quel liquido in un dato luogo, si deduce la sua altezza sul livello del mare, o quella cui si trova rispettivamente ad un altro dove si è istituita l'eguale osservazione (1).

(1) Forbes ha fatto delle osservazioni intorno a questo metodo di misurare le altezze, il quale certamente non è atto a condurre a risultati soddisfacenti. Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVII, pag. 154. Su questo argomento si può consultare il *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. V, p. 332 e t. IX, pag. 962.

1019. La coesione delle molecole liquide esercita una grande azione sul grado necessario al bollimento dei liquidi. I liquidi più viscosi sopportano, a pari circostanze, maggior grado di calore, avanti di bollire, dei meno viscosi. La coesione può diventare tale in un liquido da modificare il principio generalmente ammesso che *alla temperatura dell'ebollizione la forza elastica del vapore eguaglia la pressione atmosferica*. I liquidi, ben purgati d'aria colla continua ebollizione, permettono alle loro molecole la libera azione della loro coesione e, quando si tratta di farli bollire di nuovo, richiedono una temperatura maggiore. Donny è giunto a purgare d'aria l'acqua in modo da elevarla al calore di 135° centesimali senza bollire sotto la pressione minore di quella dell'atmosfera (1). In tal caso la coesione del liquido si oppone alla forza espansiva del calorico, che tende a trasformarlo in vapore. Bellani aveva già fatto avanti di Donny una simile osservazione (2).

1020. La qualità della materia del vaso esercita una sensibile influenza sul grado d'ebollizione dei liquidi. Per l'acqua una tale influenza è stata la prima volta notata da Fontana, come si è detto, essendosi trovato che quel liquido richiede per bollire nei vasi di vetro maggior temperatura che in quelli di metallo (§. 991 e §. 992, VII). Bellani ha pure verificato l'influenza dell'adesione delle pareti del vaso sul bollimento dell'acqua (3).

La profondità più o meno grande degli strati liquidi aumenta la pressione cui sono sottoposti, e quelli vicini al fondo, oltre la pressione atmosferica alla superficie, devono vincere quella prodotta dalla colonna liquida sovrincumbente. Laonde in una grande caldaia piena d'acqua all'altezza di 10 metri, gli strati vicini al fondo sosterrebbero la pressione di due atmosfere (§. 648) e per conseguenza non potrebbero essere trasformati in vapore che alla temperatura di più di 121° centesimali (§. 615), mentre a quelli della superficie bastano per l'ebollizione 100°. Avviene quindi che l'acqua, quando verso il fondo ha acquistato calorico bastante a vincere la pressione, forma delle bolle di vapore che si dilatano, si elevano e, passando successivamente per tutte le temperature, si raffreddano e ritornano

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXII, pag. 53.

(2) Vedi la memoria di lui, citata nella seguente nota.

(3) Si vegga lo scritto di lui: *Esame dell'ebollizione dei liquidi diretto a verificare alcuni errori invalsi* ecc. nel t. II del *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli. Pavia 1809; ed *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVIII, pag. 278.

alla superficie al disotto di 100°. Sinchè gli strati superiori hanno una temperatura inferiore a 100°, le bolle, che si portano alla superficie, si condensano subitamente non potendo conservare il calore necessario all'ebollizione. Da questo condensamento subitaneo, avanti che gli strati superiori abbiano acquistato la conveniente temperatura, pare che dipenda quel mormorio che precede all'ebollizione dei liquidi.

1021. Le sostanze, che un liquido tiene in soluzione, ne cambiano il grado di ebollizione. Tutti i sali solubili rendono all'acqua maggior calore per l'ebollizione. Saturando di sale l'acqua ed esplorando il punto di ebollizione alla media pressione di 76 centimetri, si sono determinati i gradi per parecchie soluzioni, alcune delle quali si riferiscono nel seguente quadro dove sono indicate, per ogni 100 parti in peso d'acqua, le parti di sale che vi si contengono, ottenute col far evaporare completamente il liquido rilevando poscia il peso del sale rimanente ben asciutto.

| NOMI DEI SALI | IN 100 PARTI d'acqua | EBOLLIZIONE in gradi centes. |
|---|---|---|
| Solfato di soda . . . . | 31,5 | 100°,6 |
| Acetato di piombo . . . | 41,5 | 101,7 |
| Solfato di ferro . . . . | 64,0 | 102,2 |
| Solfato di rame . . . . | 45,0 | 102,2 |
| Clorato di potassa . . . | 40,0 | 103,3 |
| Alume . . . . . . . . | 52,0 | 104,5 |
| Solfato di zinco . . . . | 45,0 | 104,5 |
| Sottocarbonato di soda . . | 52,5 | 105,6 |
| Solfato di magnesia . . . | 57,5 | 105,6 |
| Sal comune . . . . . . | 30,0 | 106,7 |
| Tartrato di potassa . . . | 68,0 | 112,2 |
| Cloridrato d'ammoniaca . . | 50,0 | 113,3 |
| Salnitro . . . . . . . . | 74,0 | 114,5 |
| Nitrato di soda . . . . . | 60 | 118,9 |

Vi sono dei sali che, sciolti a saturazione nell'acqua, danno a questo liquido la temperatura dell'ebollizione ancor più elevata di quelle notate nel quadro. Coll'acetato di soda l'acqua richiede 124°,5 centesimali per bollire e col sottocarbonato di potassa 140°. Da quei risultamenti si ricava che i sali i più solubili non elevano sempre il punto d'ebollizione dell'acqua in confronto di quelli che lo sono meno.

Il sale ammoniaco risulta dalla combinazione di due gas, l'ammoniaca e l'acido carbonico: saturando l'acqua di questo sale si ha la soluzione che bolle al disotto di 100°, ed aumentando la temperatura il sale si decompone, si dissipa in gas e sparisce del tutto giunta l'acqua al suo grado ordinario d'ebollizione. Si osservi altresì che, per es., nella soluzione di tartrato di potassa il punto d'ebollizione è di 112°,2 e l'elasticità del vapore che si forma risulta d'un'atmosfera. Ma alla temperatura di 112°,2 la tensione del vapore acqueo eguaglia un'atmosfera e mezzo (§. 615), per cui bisogna conchiudere che l'eccesso di forza espansiva del calorico, nel caso della soluzione, sia impiegato a vincere l'accresciuta coesione delle parti del liquido in causa della mescolanza del sale. Da questa proprietà risulta eziandio la conseguenza, di cui possono trarre profitto le arti, cioè che *col vapore acqueo si può produrre un calore molto più elevato di* 100°. Infatti, dirigendo una corrente di vapore esalato dalla soluzione di nitrato di soda sopra la stessa soluzione contenuta in altro vaso ed al disotto del suo punto d'ebollizione, il vapore medesimo si condensa e deposita sulla seconda soluzione fredda il suo calorico latente sino a che la temperatura sia pervenuta a 118°,9. Al qual punto la forza elastica della corrente vaporosa è equilibrata dalla tensione del vapore che incomincia a svilupparsi dalla mescolanza così riscaldata.

I liquidi nelle loro mescolanze cambiano il punto d'ebollizione. Nell'acqua, per es., il calore necessario al suo bollimento diminuisce quando la si mescoli con altro liquido più facile ad evaporare, come sarebbero l'alcoole e l'etere; mentre aumenta mescolandola con un liquido meno evaporabile, come l'acido solforico. I due liquidi che erano chimicamente fra loro mescolati, danno nel bollire dei vapori, i quali lo sono soltanto mecanicamente, avendo il calorico latente distrutto la loro reciproca affinità. Nel seguente quadro riportiamo in gradi centesimali il calore d'ebollizione di alcuni liquidi nel loro stato di purezza e sotto la pressione di 760 millimetri (1). Si è de-

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 46.

terminato altresì il punto d'ebollizione di materie, che alla temperatura ordinaria sono allo stato solido, e che riscaldate diventano liquide ed hanno il loro grado d'ebollizione come i liquidi medesimi. Il solfo e e il fosforo, che alla temperatura ordinaria sono solidi e si fondano rispettivamente alle temperature di 109° e di 45° (§. 1014); hanno il loro punto di ebollizione, il primo a 299° ed il secondo a 290°.

| LIQUIDI | EBOLLIZIONE | LIQUIDI | EBOLLIZIONE |
|---|---|---|---|
| Cloruro d'etilo . . | 11°,0 | Acqua . . . . . | 100°,0 |
| Ossido d'etilo . . | 35,5 | Acido nitrico . . | 120,0 |
| Etere solforico . . | 37,8 | Olio di trementina . | 157,0 |
| Solfuro di carbonio | 47,9 | Acido solforico . . | 310,0 |
| Spirito di legno . . | 66,3 | Olio di lino . . . | 316,0 |
| Alcoole . . . . . | 78,3 | Mercurio . . . . | 350,0 |

La facilità dei liquidi, per essere portati al loro punto d'ebollizione dipende non solo dalla minore temperatura che richiedono per giungere a tale punto, ma ben anche dalla loro capacità pel calorico a pari temperatura, di cui parliamo più avanti. L'acqua ha una capacità molto superiore all'olio di lino, come vedremo, e perciò si riscalda più lentamente di questo liquido sottoposti ambidue all'egual sorgente di calorico, quantunque pervenga più presto a bollire per avere il punto di trasformazione in vapore più basso dell'olio medesimo. In seguito esamineremo da che dipenda la rapidità dell'aeriformazione, una volta che il liquido abbia incominciato a passare in vapore.

1022. Agli esposti principii intorno al calorico, che si fa latente nel passare un solido allo stato liquido ed un liquido all'altro di aeriforme, aggiungeremo alcune osservazioni in un alla spiegazione di parecchi fenomeni spontanei od artificiali, presentati dalla natura e dalla scienza, che servono a confermare nello stesso tempo le dottrine dichiarate.

In questi passaggi si osserva che il calorico, sopravveniente a pro-

durre il cambiamento di stato nel corpo, non influisce sensibilmente ad innalzare la temperatura del medesimo dopo che la mutazione ha avuto incominciamento. L'acqua, risultante dal ghiaccio o dalla neve che si fonde, segna con molta approssimazione costantemente lo zero termometrico; e l'acqua, tosto che ha avuto principio l'ebollizione, conserva costantemente la temperatura di 100°. Un corpo qualunque esposto all'azione del fuoco per fonderlo o per ridurlo in vapore, tosto che ha raggiunto il calore della fusione o dell'ebollizione, continua a segnare la medesima temperatura finchè rimane una certa quantità di materia che ha ancora da subire la trasformazione. Il nuovo calorico, che sopraggiunge, viene assorbito dal corpo che si trasforma in liquido o in vapore e diventa latente nel medesimo costituendosi, come si è mostrato, in calorico di liquidità o di elasticità. Ed ecco perchè, nello stabilire gli estremi della scala termometrica, si sono prese la temperatura del ghiaccio o della neve deliquescente e non quella dell'acqua gelante, e la temperatura dell'acqua bollente e non quella del vapore condensato in liquido.

Si comprende eziandio come un vaso di stagno o di qualche lega ancor più facile a fondere, se si riempie d'acqua o d'altro liquido evaporabile a debole calore, e si espone ad un fuoco intenso, esso non si fonde finchè contiene di quel liquido, per la ragione che il vapore, che va formandosi, sottrae al vaso stesso ed al liquido rimanente il calorico a loro comunicato dal fuoco. La fusione tosto avviene che il liquido coll'evaporazione è scomparso del tutto.

I vasi di vetro, di maiolica e di terraglia, che contengono dell'acqua od altro liquido riscaldati al fuoco, screpolano spesso nella parte superiore non a contatto del liquido medesimo. Il calorico, che investe il vaso, non innalza, di più dell'ebollizione, la temperatura della parte a contatto col liquido, ma la parte superiore scoperta è riscaldata sempre più ed è portata al calore che la fa screpolare (§. 982).

**1023.** All'appoggio di questi principii si comprende come l'acqua, il vino od altro liquido, contenuto in una boccia o in un fiasco, possa essere rinfrescato esponendolo convenientemente ai raggi solari. Si avvolge il vaso in pannolino o in tessuto spugnoso inumidito d'acqua o d'alcoole; l'azione del sole facilita l'evaporazione del liquido così diviso, il quale in tal passaggio assorbe anche calorico dal vaso, con cui è a contatto, e rinfresca l'acqua ed il vino in esso contenuto. È per la stessa cagione che si prova la sensazione di freddo esponendosi, dopo il nuoto, al sole per asciugarsi col corpo nudo co-

perto d'un velo d'umidità. Parimenti gli animali lanuti, che hanno il corpo bagnato, provano sotto la sferza dei raggi solari l'eguale effetto. Non deve fare maraviglia quindi se un animale, spruzzato convenientemente d'acqua, si possa far intirizzire di freddo quantunque esposto al sole. Non è altresì un paradosso il dire che un essere vivente potrebbe ben anche morire di freddo sotto l'azione dei raggi solari d'uno dei più caldi giorni d'estate, bagnandolo convenientemente d'alcoole e promovendo l'evaporazione colla ventilazione.

Dallo stesso principio dipende il metodo di rinfrescarsi, nei cocenti calori dell'estate, col bagno in cui una moltitudine di esilissimi zampilli e spruzzi d'acqua sono diretti sul corpo della persona, sapendosi che il liquido, così diviso, passa facilmente in vapore. Ed è perciò che, avendo gli abiti umidi, si prova una sensazione di freddo in un'atmosfera molto secca ed agitata, come succede entrando in una stanza riscaldata a corrente d'aria (§. 970).

1024. La condizione essenziale, per ottenere i surriferiti fenomeni di raffreddamento, si è che i raggi calorifici non siano trasmessi a traverso il velo umido, di cui è ricoperto il corpo, e non giungano al medesimo fornendogli abbastanza calorico da compensare non solo la perdita che vien fatta per l'evaporazione del liquido, ma da eccederla ben anche e da riscaldare per tal modo il corpo medesimo invece di raffreddarlo. Infatti, presentando un termometro col bulbo inumidito al fuoco d'un camino, il calorico irradiante attraversa facilmente il velo liquido e fa innalzare la colonnetta di mercurio. Circondando invece il bulbo con un corpo, che intercetta i raggi calorifici, viene impedita l'azione diretta di questi raggi sul termometro, i quali non fanno altro che promuovere l'evaporazione del liquido, essendo il calorico latente in parte somministrato dal bulbo con cui si trova a contatto, ed avendo luogo con ciò l'abbassamento del mercurio. Esponendo i piedi coi calzari inumiditi all'azione del fuoco per iscaldarli, si prova sul principio una sensazione notabilissima di freddo. Ed è per l'egual cagione che si sono raffreddati l'acqua ed il vino posti sotto terra entro fiaschi, accendendo della paglia sulla superficie superiore convenientemente inumidita.

1025. Si è detto che, quando l'aria è ben secca ed agitata, l'evaporazione è molto più rapida e il raffreddamento può diventare tale da produrre la congelazione del liquido a contatto del quale essa si opera. Williams riferisce che i paesani di Sennaar si procacciano del ghiaccio colla semplice evaporazione dell'acqua. Scavano nel terreno un canale della profondità di circa 12 centimetri, ne coprono il fondo

di paglia secca o di canne di zucchero e vi ripongono dei vasi a foggia di padelle di terra poco cotta e non verniciata, dove versano l'acqua da essere gelata. Tosto che il liquido è posto in questi recipienti, le pareti diventano estremamente umide per l'acqua, che trapela dai pori delle medesime: questo velo d'umidità svapora facilmente in virtù del vento secco che spira costantemente in quelle regioni durante la primavera e l'estate, e riproducendosi continuamente depaupera l'acqua residua di calorico a segno che si mette essa verso sera per averla gelata alla seguente mattina. La paglia non sembra ad altro destinata che ad impedire, per la sua poca conducibilità, che il terreno somministri calorico all'acqua dei vasi.

D'altronde in Egitto si fa un grandissimo commercio di piccoli fiaschi formati di materia porosa e poco pesanti chiamati *bardacche* e nel levante *alcarazas*, dei quali si servono quei popoli per rinfrescare l'acqua esponendoli al vento di tramontana, che colà soffia per buona porzione dell'anno. Se ne fa gran traffico a Chene, l'antica Cenepoli, e secondo mi è stato raccontato da viaggiatori che hanno visitato quei paesi, sono composti di due terzi d'argilla ed un terzo di cenere. Uno di tali vasi mi fu ceduto da uno di quei viaggiatori pel gabinetto di fisica del R. Liceo a S. Alessandro di Milano. La porosità è dovuta al secondo componente; giacchè, cotto il vaso, l'acqua che vi si versa scioglie le particelle alcaline della cenere e ne risultano quei forellini invisibili, pei quali trapela e si forma sulla superficie esterna la specie di rugiada, che evaporando, pel vento che spira, produce una diminuzione di temperatura di 10,15 e ben 20 gradi centesimali al disotto di quella dell'aria ambiente. Il fenomeno non si ottiene così facilmente nei paesi poco ventilati ed umidi. Nel distretto di Gorodoch in Russia vi ha una collina al piede d'un monte, sulla superficie della quale l'umidità, che esce dai pori d'una rupe, si converte in ghiaccio nei giorni d'estate e di bel tempo. Il ghiaccio sparisce durante la notte e nei tempi nuvolosi, rimanendo la rupe soltanto bagnata dall'acqua allo stato liquido. Le piante, nelle regioni molto ventilate, si rinfrescano per la qualità del tessuto della loro epidermide, che adempie più o meno all'ufficio delle bardacche. È per la stessa cagione che l'acqua, sparsa sopra il pavimento di mattoni porosi, rinfresca nei giorni estivi una stanza ben ventilata.

Lasciando cadere sul palmo della mano alcune gocce di liquido volatile, si prova ben presto nel sito toccato dal medesimo la sensazione di freddo. È per lo stesso principio che d'estate si prova una frescura ristorante agitando col ventaglio l'aria intorno di noi. Il velo

di sudore, che per traspirazione ricopre la cute, passa colla ventilazione facilmente in vapore e produce raffreddamento. Parimenti, esponendo un dito umido all'aria, il raffreddamento che avviene ci fa accorti da qual parte spira il vento.

1026. Abbiamo più d'una volta veduto che l'accresciuta pressione dell'aria ritarda l'evaporazione dei liquidi, e l'ebollizione ha luogo a temperature più elevate; ed all'inverso la diminuita pressione l'accelera e l'ebollizione succede a temperature più basse. L'acqua, contenuta in un vasellino contornato da qualche liquido facile ad evaporare come l'etere, posta sotto il recipiente pneumatico può essere convertita in ghiaccio.

Un fenomeno singolare di questa specie offre la scienza gelando l'acqua coll'evaporazione di parte di se medesima nel vuoto pneumatico È mirabile in questa esperienza di ottenere l'acqua quasi contemporaneamente nello stesso ambiente ai tre stati di *liquido, aeriforme* e *solido.* Si colloca sotto il recipiente della machina pneumatica un largo vaso di vetro pieno d'acido solforico concentrato o d'alcali caustico, le quali materie hanno la proprietà di attrarre e di prendere in sè i vapori acquei. Al disopra si dispone, con un sostegno, un piattellino di vetro contenente dell'acqua. A misura che l'aria è rarefatta nel recipiente pneumatico, l'acqua si alza in bolle vaporose, le quali sono assorbite dall'acido solforico. Dopo alcuni minuti che seguita l'evaporazione, la quale è resa più pronta e continuata per la facoltà assorbente dell'acido, incominciano a comparire alcuni aghi di ghiaccio nel piattello ed un lieve scuotimento converte ben presto tutta l'acqua in massa solida.

1027. Il gelamento dell'acqua, in causa del calorico che passa latente nell'evaporazione di parte di se stessa, si ottiene con un piccolo apparato permanente, che fu chiamata da Wollaston *crioforo* o *portagelo* (1) Esso consiste in un tubo di vetro del diametro interno di circa 4 millimetri e terminato alle estremità da bolle della stessa materia. Il tubo è ripiegato a squadra parallelamente a se medesimo (fig. 229) formando due rami di lunghezza ineguali in modo che la bolla A risulta molto più elevata dell'altra B. Trovasi in esso rinchiusa dell'acqua in quantità da riempiere quasi per intiero la capacità della bolla A. Il tubo è stato chiuso colla fusione del vetro dopo aver mantenuto bollente il liquido ed espulsa l'aria, che conteneva. Si fa rientrare tutta l'acqua nella bolla A e s'immerge la B nel ghiaccio o

(1) *Bibliothèque britannique des sciences et arts*, t. LIX, 1815, pag. 274.

in una mescolanza frigorifera. La bassa temperatura, cui è sottoposta la bolla B, ricondensa in liquido i vapori che in essa si trovano, con cui si produce nel tubo e sulla superficie dell'acqua in A il vuoto. Il liquido evapora a spese del calorico di quello rimanente nella bolla A, e continuando questa sottrazione in causa della successiva evaporazione prodotta dal ricondensamento nella bolla B, l'acqua, rimasta nella bolla A, si raffredda sempre più e giunge al fine a gelare.

1028. Sullo stesso principio è fondata un'esperienza, che reca sempre maraviglia a chi la vede per la prima volta. Si prende un matraccio sferico a lungo collo A (fig. 230), che si riempie per circa metà d'acqua e si mette al fuoco per farla entrare in piena ebollizione. Si sostiene l'ebollizione pel tempo necessario ad espellere l'aria sovrastante all'acqua col vapore che prende il suo posto, poscia si tura il vaso col tappo B e si capovolge come è rappresentato nella figura immergendone ben anche il collo in altr'acqua, affine d'impedire che per gl'interstizi lasciati dal tappo scoli l'acqua e vi entri aria esterna. Tenuto il matraccio così disposto, non si osserva verun indizio di ebollizione nell'acqua in esso contenuta; giacchè il vapore nella parte superiore fa colla sua tensione le veci della pressione atmosferica ed obbliga il liquido a rimanere in tale stato al livello *mn*. Versando invece sulla parte superiore C un liquido refrigerante o sovrapponendovi un pezzo di ghiaccio, allora si manifesta tosto l'ebollizione. Il raffreddamento condensa il vapore sovrastante all'acqua contenuta nel matraccio e diminuisce la pressione sulla medesima togliendo così l'ostacolo all'ebollizione. Con un corpo refrigerante dunque si ha l'ebollizione dell'acqua, che si può continuare per parecchie ore senza far uso del fuoco.

1029. Un poco differente nel modo d'azione, quantunque dipenda dallo stesso principio, è il fenomeno che si ottiene col *bollitore* di Franklin. Esso è composto d'un tubo e di due bolle di vetro come il termoscopio (§. 1002). Nella capacità del tubo e per circa metà delle bolle si rinchiude dell'acqua, dopo aver espulsa l'aria coll'ebollizione di quel liquido. S'inclina il tubo all'orizzonte sotto un certo angolo, innalzando una bolla ed abbassando l'altra; l'acqua, secondo le leggi idrostatiche, si raduna quasi per intero nella bolla meno elevata e in porzione del tubo (§. 511). Disposto l'apparato in tale posizione, si applica la mano sulla bolla più bassa: il calore della medesima si comunica al vapore contenuto in parte di quella capacità, il quale si dilata ed aumenta ben anche in volume colla formazione

di nuovo vapore, spinge così l'acqua nell'altra bolla, che ha conservato la temperatura primitiva (fig. 231). Succede poscia nella bolla B una specie di gorgogliamento somigliante all'ebollizione, sinchè l'altra A continui ad essere riscaldata dalla mano o da altra causa e vi abbia in essa qualche poco d'acqua o velo liquido.

Il gorgogliamento è prodotto dal vapore, che si fa strada a traverso all'acqua della bolla B in virtù della dilatazione; mentre nuov'acqua trascorre aderente al tubo e giunge alla bolla A per essere trasformata in vapore e riprodurre il fenomeno. Il vapore, a misura che attraversa l'acqua e passa nella bolla B, si ricondensa tutto o parte in liquido; e se tengasi l'apparecchio inclinato in modo che la bolla A non riceva nuov'acqua per essere trasformata in vapore, quella specie di bollimento vien ben presto a cessare.

1030. Accadono fenomeni somiglianti ai suddescritti per l'assorbimento di calorico coi solidi, che passano allo stato liquido. Calpestando la neve, si prova ai piedi un notabile freddo, non solo per la bassa temperatura di cui è dotata, ma molto più pel calorico che richiede nella sua trasformazione in liquido. Durante l'estate, alla caduta della gragnuola, avviene una diminuzione considerabile di temperatura anche nell'atmosfera dei paesi circonvicini a quello ove cade la meteora, in causa della grande quantità di calorico, che assorbe la grandine nel liquefarsi. Ponendo al fuoco un vaso pieno di ghiaccio, sul quale riposa qualche recipiente contenente un liquido, la temperatura di questo, pel calorico assorbito dal ghiaccio nella fusione, diminuisce più celeremente di quando sia posto a contatto col ghiaccio allo stato ordinario.

Il professore Orioli ha sperimentato che, mescolando assieme collo sfregamento le due amalgame solide di piombo e di bismuto, esse si liquefanno; e durante questo passaggio la loro temperatura si abbassa di 22° ottagesimali (1). Sperienze consimili vennero istituite da Döbereiner. Davy aveva già osservato che l'amalgama solida di bismuto formava con quella solida di piombo un composto liquido, e Döbereiner ha trovato che si aveva una diminuzione di temperature nella riunione delle due amalgame (2). Quest'ultimo fisico ha trovato altresì che, mescolando assieme 207 parti in peso di piombo, 118 di stagno, 284 di bismuto e 1617 di mercurio alla temperatura di 17° centesimali, il termometro discende successivamente sino a —10°.

(1) *Antologia* di Firenze, fascicolo di febbraio, 1824, pag. 147-148.
(2) *Journal für Chemie und Physik*, 1824, t. XII, pag. 182.

## SEZIONE II.

### *Della propagazione del calorico.*

1031. Il calorico si propaga in due differenti maniere, cioè per *contatto* e per *irradiazione*. Nel primo caso transita da molecola a molecola, da strato a strato pei corpi forniti dell'attitudine di condurlo, per cui si appella *calorico condotto* ed eziandio *calorico repente* dal latino *rependere* pareggiare. Nel altro caso si slancia a distanza sugli oggetti circostanti senza valersi dei corpi intermedii, comportandosi così come la luce che da una fiaccola irradia all'ingiro: appunto per questa somiglianza di propagazione dicesi *calorico irradiante* o *raggiante*.

Le masse fluide, che sono riscaldate inferiormente, concepiscono per le leggi idrostatiche un movimento, nel quale il calorico è trasportato a distanza dal suo punto d'origine ed è in certa qual maniera propagato nella direzione che prende la corrente fluida. Abbiamo veduto come con queste correnti il calorico è trasportato a riscaldare gli ambienti. Siccome questa specie di propagazione dipende dalle leggi della statica della materia ponderabile allo stato aeriforme e liquido; così non costituisce essa una proprietà inerente al calorico, nè devesi per conseguenza riporre fra le leggi, che segue questo fluido imponderabile.

Il riscaldamento d'un corpo, posto a distanza dal fuoco di legne in combustione, è prodotto da calorico irradiante. Dalla sede del fuoco si diffondono raggi calorifici, che giungono a traverso l'aria ambiente a riscaldare gli oggetti circostanti e si manifestano al termometro disposto a riceverli. Il calorico in tal modo comunicato a quegli oggetti, si diffonde di nuovo per irradiazione nello spazio all'intorno e si equilibra su tutti i corpi che incontra, potendosi trasformare in calorico repente nel diffondersi pei medesimi. In una verga di metallo, che con un'estremità è posta nel fuoco, il calorico invece è condotto e si propaga all'altra estremità, donde si trasforma in calorico irradiante se non incontra altri corpi dai quali essere condotto a maggiore distanza per mettersi in equilibrio. I pezzi di ferro nelle fucine sono primieramente riscaldati alla loro superficie, poscia il calorico transitando da molecola a molecola e da strato a strato si interna nella massa e penetra nelle parti centrali, dove ne eleva pure la temperatura e vi produce gli effetti corrispondenti.

1032. Il calorico libero, che scaturisce da una sorgente qualunque,

si propaga irradiando o transitando pei corpi intermedii sugli oggetti circostanti per mettere la loro temperatura allo stesso livello. Infatti, se si riscalda un corpo omogeneo qualunque e dopo un certo tempo si esplora la temperatura di qualsiasi dei suoi punti, si trova che ciascuno di questi è egualmente caldo. Siano altresì esposti diversi corpi nella medesima camera, la quale sia riscaldata da qualche sorgente: esplorandone poscia la temperatura di ognuno si trova in tutti la stessa, eguale a quella dell'aria e delle pareti dell'ambiente. *In quest'equabile ed uniforme distribuzione del calorico sensibile in un corpo o in un sistema di corpi consiste appunto l'equilibrio del medesimo*; e si ammette generalmente che *il calorico tende all'equilibrio.*

La tendenza del calorico a diffondersi in più o meno quantità nei corpi, per portarli all'eguale temperatura, dipende dalle qualità dei medesimi, come mostreremo più avanti; altrimenti il calorico necessario per innalzare corpi diversi alla medesima temperatura sarebbe proporzionale alla quantità di materia, non avendovi influenza la loro natura. Laonde, se per riscaldare un dato volume d'acqua sia necessario una tal quantità di calorico, per riscaldare egualmente lo stesso volume di mercurio si richiederebbe quasi 14 volte altrettanto calorico, essendo il secondo liquido quasi 14 volte più denso del primo. Ma ciò è smentito dal fatto, il quale, come quanto prima vedremo, dimostra al contrario essere necessario maggior calorico per riscaldar l'acqua allo stesso grado d'egual volume di mercurio. Osserviamo inoltre che la temperatura, cui si mettono i corpi, dipende appunto dalla tendenza che ha il calorico a sfuggire da quelli dove sovrabbonda per equilibrarsi negli altri che ne hanno meno.

1033. È facile l'avvedersi che le quantità di calorico, necessarie all'equilibrio per innalzare masse della stessa natura all'eguale temperatura, devono essere proporzionali alle quantità di materia od alle masse medesime: laonde se, per riscaldare di tanto la massa $m$ d'acqua o di qualunque altra materia, si richiegga la quantità C di calorico se ne vorrà 2C, 3C, ecc. per riscaldarne egualmente le masse $2m$, $3m$ ecc. Dunque, in generale, le quantità totali di calorico libero per diverse masse dello stesso corpo saranno proporzionali ai prodotti rispettivi delle masse medesime moltiplicate per la loro temperatura, ed all'inverso la temperatura risulterà espressa dal quoziente della quantità totale di calorico divisa per la massa. Avendosi dunque le masse $m$, $m'$, $m''$ ecc. dello stesso corpo, le cui temperature sono $t$, $t'$, $t''$ ecc., le loro quantità di calorico saranno rappresentate

rispettivamente da $mt$, $m't'$, $m''t''$ ecc. e la quantità totale della loro riunione dalla somma $mt+m't'+m''t''$. Che se vogliasi conoscere *a priori* la temperatura che prenderà la mescolanza di tutte quelle masse, basterà di dividere quella somma per la somma delle masse, e sarà eguale ad $\frac{mt+m't'+m''t''}{m+m'+m''}$. Da ciò si ricava in generale che *la temperatura risultante dalla mescolanza di varie masse, della medesima materia diversamente calde, è eguale alla somma dei prodotti d'ogni massa per la rispettiva temperatura divisa per la somma delle masse*. Laonde, se le masse sono eguali, la temperatura che prenderà la massa totale nella mescolanza sarà eguale alla media aritmetica delle singole temperature. Mescolando 10 chilogrammi d'acqua a 12° con 5 a 60° centesimali se ne avranno 15 chilogrammi, la cui temperatura, valutata colla precedente formola, risulterà di 38°.

1034. La formola precedente vale, come si è detto, per le masse della stessa natura; essendosi trovato che, per abbassare od innalzare dell'egual numero di gradi corpi diversi alla stessa temperatura, bisogna sottrarre od aggiungere a ciascuno differenti quantità di calorico secondo la diversa natura di ognuno di essi: lo che vale lo stesso del dire che tutti i corpi hanno una particolare attitudine di contenere il calorico per ridurli all'egual temperatura, attitudine che venne chiamata *capacità dei corpi pel calorico*. Siccome poi questa capacità tiene alla natura dei corpi, in modo che la è diversa secondo le diverse loro specie; così la quantità di calorico contenuta nei corpi in forza di tale capacità si è denominata *calorico specifico*. In questo però non vi ha compreso il calorico combinato, per rendere libero il quale bisognerebbe cambiare la costituzione chimica del corpo (§. 961).

La capacità pel calorico o *il calorico specifico è dunque la misura che indica la quantità di questo fluido, che bisogna comunicare ad un corpo per innalzarne la temperatura ad un certo grado comparativamente a quella che bisogna dare ad un altro eguale in peso per innalzarlo dalla stessa temperatura all'egual grado*. Si avverta per altro che i corpi non cangino natura nè stato, perchè nel primo caso vi avrebbe parte il loro calorico combinato e nel secondo sappiamo, da quanto precede, che i corpi nel passare dallo stato solido a quello liquido e da questo all'altro di aeriforme assorbono una gran quantità di calorico, che si fa latente, che altererebbe notabilmente i risultati dell'esperimento.

Da qui si ricava la necessità di stabilire il corpo cui riferire il calorico specifico degli altri. Pei solidi e pei liquidi si è stabilita l'acqua per l'unità di calorico specifico e pei gas l'aria atmosferica. Le indagini teoriche sul calorico specifico delle diverse specie di corpi si sono fatte però prendendoli non solo a massa eguale, ma ben anche a volume eguale partendo da una data temperatura comune a tutti, ricercando cioè quali quantità di calorico si richieggono per riscaldarli d'uno stesso grado o d'uno stesso numero di gradi presi sotto la stessa massa o sotto lo stesso volume e partendo dalla medesima temperatura.

I metodi per la determinazione del calorico specifico dei corpi si riducono ai tre seguenti. 1° *il metodo di mescolanza*; 2° *l'altro della quantità di ghiaccio fuso*, che si pratica coll'apparato detto *calorimetro*; 3° infine *quello di raffreddamento*. Passiamo brevemente a rassegua questi tre metodi cercando di far conoscere i principii da cui dipendono, senza occuparci di tutti i dettagli minuziosi delle sperienze, i quali si possono riscontrare negli scritti che si occuparono specialmente di somiglianti indagini.

1035. Sapendo determinare a priori la temperatura che prenderebbe la mescolanza di date masse della stessa materia prese a temperature parimente date (§. 1033); se esse sono di diversa natura senza che esercitino fra loro azione chimica, ed abbiano per conseguenza diversa capacità pel calorico, la temperatura del miscuglio trovata col calcolo sarà differente da quella effettivamente ottenuta coll'esperienza. Con questo dato per altro si giunge a valutare il calorico specifico relativo delle due materie che si mescolano, e in questo consiste il *metodo di mescolanza*.

Siano infatti M, $m$ le masse del corpo cimentato e dell'acqua, che serve d'unità pei calori specifici; T, $t$ le temperature rispettive e $\theta$ quella della mescolanza, mentre $x$ esprime il calorico specifico del corpo dato, essendo 1 quello dell'acqua. Il calorico libero perduto o la diminuzione di temperatura del corpo proposto sara espressa da $T-\theta$, mentre l'acqua acquisterà l'aumento $\theta-t$. Ora la quantità totale di calorico perduto dal corpo cimentato sarà espressa dal prodotto della sua massa M, per la diminuzione di temperatura $T-\theta$ e pel suo calorico specifico $x$, cioè $Mx\ (T-\theta)$; mentre la quantità di calorico guadagnato dall'acqua nella mescolanza risulterà $m\ (\theta-t)$ ritenendo che il suo calorico specifico è 1. Dovendo poi la quantità totale perduta da una delle materie essere eguale a quella guadagnata dall'altra, si avrà l'equazione $Mx\ (T-\theta)=m\ (\theta-t)$, da cui si

ricava $x=\frac{m(\theta-t)}{M(T-\theta)}$, che dà il calorico specifico ricercato rispettivamente a quello dell'acqua preso per l'unità. Abbiansi mescolati 28 grammi di mercurio ad 80° e 10 d'acqua a 40°, essendosi avuto il miscuglio a 43°; sostituendo questi valori si ha $x=\frac{10(43-40)}{28(80-43)}=0,029$, il qual numero esprime il calorico specifico del mercurio essendo 1 quello dell'acqua.

Nelle determinazioni con questo metodo sono necessarie alcune correzioni: primieramente quella del calorico assorbito dalla materia del vaso; in secondo luogo l'altra della quantità di calorico, che si disperde per irradiazione durante il tempo dell'esperimento. Bisogna altresì usare parecchie avvertenze, fra le quali che nessuna delle due materie si trasformi in vapore, per cui si opera a temperature assai basse; e di prendere la temperatura dell'acqua con un termometro a lungo bulbo cilindrico, onde occupi tutta l'altezza del liquido nel vaso ed avere così la temperatura media dei diversi strati riscaldati inegualmente secondo la profondità. I corpi solidi d'ordinario si riducono in polvere e si rinchiudono in un vasellino di rame o d'argento, tenendo conto del calorico, che s'impossessa, per portare ai risultati anche in questa parte la necessaria correzione. Avogadro fra gli Italiani, Lavoisier, Dalton, Neuman, Despretz, Dulong e Petit fra gli stranieri (1) e più recentemente Regnault, Marcet, De la Rive ed altri fisici (2) si sono occupati della determinazione del calorico specifico dei diversi corpi col metodo di mescolanza come pure cogli altri due metodi, dei quali riporteremo i risultati dei corpi principali alla fine del nostro *Corso Elementare*.

1036. Wilke, chimico svedese, il quale pubblicò nelle *Memorie della R. Accademia* di Stocolma del 1781 delle osservazioni giudiziose sul calorico specifico, ha imaginato di misurare la capacità pel calorico mediante la fusione della neve o del ghiaccio tagliuzzato; Lavoisier e Laplace, insistendo su questo pensiero, lo perfezionarono imaginando un apparato per tale specie d'indagini. Era mestieri

(1) Intorno alle sperienze degli autori qui citati come pure di altri anteriori può consultarsi la *Fisica dei corpi ponderabili* del detto cav. prof. Avogadro, t. III, pag. 126 e seguenti, dove trovansi riferiti i dettagli delle sperienze medesime e le deduzioni relative.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. I, pag. 137 e 225; t. II, pag. 127 e t. III, pag. 15 e 32.

d'impedire che il ghiaccio o la neve, da fondersi in virtù del calorico specifico somministrato dal corpo che si cimenta, non provasse gli effetti del calorico dell'aria ambiente e di quello irradiato dagli oggetti circostanti. Una volta che la neve o il ghiaccio venisse fuso soltanto dai corpi sottoposti alla prova, è chiaro che, presi essi alla stessa temperatura, nello stesso peso e del resto alle medesime circostanze, quel corpo, che fonderà una doppia, tripla ecc. quantità di neve o di ghiaccio d'un altro per mettersi alla medesima temperatura zero del ghiaccio medesimo, avrà doppio, triplo ecc. calorico specifico di questo. Allo scopo d'escludere che calorico estraneo concorresse alla fusione, imaginarono essi l'apparato conosciuto sotto il nome di *calorimetro*.

Consiste l'apparato in due vasi metallici concentrici ABCD, *abcd* contenuti abbondantemente l'uno nell'altro (fig. 232) e tenuti separati da verghette di metallo o meglio di vetro o di legno, e in un terzo vaso interno V a traforo fatto con grata di fili di rame o di ferro, che è sospeso pure con verghette di metallo al vaso medio e destinato a ricevere il corpo da cimentarsi. Lo spazio compreso fra il vaso esterno ABCD e il medio *abcd* è riempiuto di ghiaccio o di neve ben ricalcata in maniera da formare all'intorno dell'interna capacità un inviluppo uniforme. Nel vaso medio si pone il ghiaccio tagliuzzato o la neve che deve essere fusa dal calorico del corpo, sinchè abbia acquistato la temperatura zero del ghiaccio stesso posto nell'apparato. Tanto la prima come la seconda capacità sono chiuse da coperchi ad orlo rilevato riempiuti pure di ghiaccio ben ricalcato.

Il ghiaccio, chiuso nell'intervallo compreso fra il primo e secondo vaso, è diretto ad impedire l'azione della temperatura esterna nella capacità interna. Avendo quindi cura di rinnovare quella specie di parete di ghiaccio al bisogno, lasciando scolare pel tubo Ç munito di chiavetta l'acqua, a misura che si forma in causa del calorico dell'ambiente supposto alla temperatura superiore a zero, è chiaro che la capacità interna *abcd* e il vasello graticolare si manterranno costantemente a zero, e la fusione del ghiaccio interno sarà interamente dovuta al calorico somministrato dal corpo sottoposto all'esperimento. L'acqua, che si forma internamente, cade pel tubo T e si raccoglie nel vaso sottoposto per averne esattamente il peso. Si colloca dunque il corpo, riscaldato ad una temperatura nota, nell'apparato disposto nel modo descritto, e si raccoglie l'acqua di fusione interna, la quale seguita a scolare pel tubo T sino a che il corpo medesimo abbia acquistato la temperatura zero del ghiaccio. Si pesa quest'ac-

qua, la quale dà la misura del ghiaccio fuso e quindi quella del calorico proprio al corpo stesso alla data temperatura e del peso parimenti dato. I fluidi si mettono in un vasellino d'argento o di rame, che si colloca egualmente nella capacità interna. In questo caso bisogna tener conto del calorico proprio del vaso, il quale concorre pur esso alla fusione del ghiaccio, e ciò allo scopo di fare al risultato ottenuto la conveniente correzione. Nell'istituire le indagini col calorimetro bisogna usare alcune precauzioni, e principalmente di non impiegare del ghiaccio o della neve al disotto della temperatura zero; poichè il calorico, che si svolge, sarebbe in parte diretto a ridurre il ghiaccio stesso a quella temperatura. Perciò è mestieri sperimentare in un ambiente il cui calore superi di qualche grado lo zero, poichè il ghiaccio che vi è stato esposto per qualche tempo si mette da sè a quest'ultima temperatura sotto la quale non può più discendere. Se l'atmosfera, cui si opera, avesse un calore di parecchi gradi sopra lo zero, bisognerebbe introdurre nei risultati la correzione del calorico, che è portato dall'aria, che s'introduce nell'apparato. Due o tre gradi di differenza non producono un'influenza sensibile nei risultati, in causa della tenue densità dell'aria. Ad ogni modo il dato per questa correzione si ottiene con un secondo calorimetro, nel cui interno è posto il solo ghiaccio, il quale non può somministrare acqua di fusione che pel calorico dell'aria che in esso s'introduce. L'acqua ottenuta da questo secondo calorimetro si sottrae da quella avuta dall'altro, in cui si è posto il corpo cimentato.

Affinchè questi sperimenti guidino a risultanze costanti e paragonabili, bisogna che partano da un termine fisso. Sapendo che per fondere un'unità in peso di ghiaccio a zero è mestieri l'eguale quantità d'acqua a 79° centesimali (§. 1014), si è partito da questa temperatura per avere il calorico specifico dei corpi relativamente a quel liquido preso come unità di misura. Laonde se un corpo a 79° ha fuso, per es., la trentesima parte del ghiaccio che fonde l'egual quantità in peso d'acqua pure a 79°, il calorico specifico del corpo medesimo sarà un trentesimo di quello dell'acqua, la quale, come si disse, per queste valutazioni si prende per unità. Ne risulta quindi la necessità di non abbandonare i termini fissi di *zero* riguardo al ghiaccio e di 79° centesimali per la temperatura del corpo da cimentarsi, il quale deve essere preso eziandio nell'eguale quantità ponderabile, per essere le condizioni che rendono paragonabili i risultamenti. Per altro si potrà eziandio assumere il corpo da cimentarsi in qualunque quantità ed a qualunque temperatura. Infatti, sia il corpo dato di $m$ chi-

logrammi ed alla temperatura $t$ ed abbia fuso nell'esperimento la quantità di ghiaccio $g$ a zero, e si cerchi la quantità $x$ che ne avrebbe fuso un chilogrammo dello stesso corpo a 79°: è chiaro che si avrà la proporzione $mt : g : 1 \times 79 : x$, donde si ricava $x = \frac{79 \times g}{mt}$. Siccome poi le quantità di ghiaccio fuso rappresentano in tal caso i calori specifici; così, essendo 1 quello dell'acqua, il corpo cimentato avrà per calorico specifico $\frac{79 . g}{mt}$. Instituendo l'esperienza con grammi 200 di mercurio alla temperatura di 30° centesimali furono fusi grammi 2,2 di ghiaccio, si domanda il calorico specifico di quel liquido metallico? Sostituendo si ha $x = \frac{79 \times 2,2}{200 + 30}$, da cui si ottiene $x = 0,029$.

Mediante il calorimetro si giunge ad ottenere il risultato esatto fondamentale del calorico, che si fa latente nella fusione del ghiaccio (§. 1014), e che qui abbiamo rammentato; giacchè con tale apparato si evita l'influenza del calorico dell'ambiente, la perdita per irradiazione e per l'assorbimento del vaso dove si fa la mescolanza.

1037. Il metodo di raffreddamento è fondato sul principio che *due corpi conterminati da superficie egualmente irradianti ed all'eguale temperatura perdono nello stesso tempo la medesima quantità di calorico*; giacchè non può essere altrimenti avendo essi, oltre le superficie, eguali gli eccessi delle loro temperature su quella dell'ambiente, il loro volume e la loro forma. Le quantità totali di calorico, che avranno abbandonato i due corpi, dovranno quindi seguire il rapporto dei tempi. Ora per un dato intervallo di tempo la quantità di calorico, che emette un corpo, è proporzionale alla sua massa ed al suo calorico specifico, nelle stesse circostanze di temperatura. Essendo dunque $m$, $m'$ le masse di due corpi; $c$, $c'$ i calori specifici e infine $p$, $p'$ i tempi di raffreddamento per prendere essi la medesima temperatura ossia per essere abbassati dell'egual numero di gradi, si avrà la proporzione $mc : m'c' : : p : p'$, da cui si ricava il rapporto dei calori specifici dei due corpi $\frac{c}{c'} = \frac{m'p}{mp'}$. Ponendo in questa proporzione i valori di $m$, $m'$ dello stagno e del ferro e quelli di $p$, $p'$ dei tempi osservati, si è trovato che i calori specifici del ferro e dello stagno stanno nel rapporto di 100 : 48,6. Quando $c'$ sia l'unità di calorico specifico cioè quello dell'acqua, allora si ha $c = \frac{m'p}{mp'}$ per l'espressione del calorico specifico del corpo dato.

Se i corpi sono liquidi o in polvere, si mettono in vasellino d'argento o di rame a pareti assai sottili. Per confrontare i calori specifici dei corpi solidi e principalmente dei metalli, si possono questi modellare in cilindri d'eguali dimensioni osservando i tempi di raffreddamento. Siccome poi per la diversità delle loro superficie sono essi dotati di diversa facoltà irradiante; così si suole applicare su di esse uno o più strati di vernice per ottenere in ambidue l'irradiazione massima, che si stabilisce con esperienze preliminari. Il piccolo vaso o il corpo è riscaldato a 30° in 40° centesimali, e poscia trasportato in un ambiente, che si mantiene a zero e nel quale si fa il vuoto colla macchina pneumatica. Quando si fa uso del vasellino bisogna tener conto del calorico del medesimo. Sia $m''$ la sua massa e $c''$ il suo calorico specifico, le quantità di calorico perdute durante i tempi $p$, $p'$ risulteranno proporzionali alle quantità $m''c''+mc$, ed $m''c''+m'c'$, talchè si avrà $m''c''+mc : m''c''+m'c' :: p : p'$. Esperimentando l'olio d'ulive e l'acqua, il vasellino d'argento pesava grammi 56,36 essendo il calorico specifico di questo metallo 0,0557, per cui è in questo caso $m''=56{,}36$, $c''=0{,}0557$. Il vasellino pieno d'acqua pesava grammi 147,04 e si è raffreddato di 30°,2 in 21', per cui $m'=90{,}68$, $p'=21'$, lo stesso pieno d'olio d'ulive pesava grammi 144,04 e portato alla stessa temperatura ha perduto egualmente 30°,2 in 12'. 12", per cui $m=87{,}68$, $p=12'.\ 12''$. Mettendo questi valori nella proporzione superiore e ritenendo che $c'=1$, si trova $c=0{,}59$ che è il calorico specifico dell'olio d'ulive in confronto dell'acqua presi i due liquidi all'egual volume.

1038. Il metodo della fusione del ghiaccio, eseguito mediante il calorimetro, conduce a risultamenti esatti, quando la temperatura esterna sia di poco superiore a zero. Quello di raffreddamento offre parecchie incertezze essendo fondato su parecchie ipotesi, che sono ben lungi d'essere dimostrate, e soggetto a parecchie influenze di cui è difficile la valutazione. È appunto per ciò che i fisici, che se ne servirono, giunsero talvolta a risultati notabilmente differenti per lo stesso corpo. In quanto al metodo di mescolanza, per raggiungere l'esattezza, richiede molte precauzioni e grande avvedutezza nello sperimentatore. D'altronde esso non si presta egualmente bene per tutte le materie, principalmente per quelle che sono poco conduttrici del calorico. La determinazione del calorico specifico dei gas richiede disposizioni particolari negli apparati.

Non dobbiamo qui tralasciare di far menzione della legge degli atomi desunta dai risultati che ottennero Dulong e Petit ed estesa

poscia con quelli conseguiti da altri fisici; quantunque, a dir vero, essa sia fondata sopra un'ipotesi. Essi hanno trovato che *i prodotti del calorico specifico dei corpi pel peso atomico corrispondente rimangono costanti*. Intorno alla quale s'istituirono parecchie indagini pel carbone, che si discostava notabilmente dalla sunnominata legge. Inoltre il calorico specifico delle leghe metalliche, alla distanza un poco grande dal loro grado di fusione, risulta la media dei calori specifici dei metalli, di cui esse si compongono (1).

Diremo infine che interessava di stabilire se i calori specifici d'una materia rimanevano costanti a qualunque temperatura. Quando la differenza di temperatura è di pochi gradi, il calorico specifico si conserva sensibilmente costante; ma quando essa è di molti gradi, il medesimo risulta un poco differente. Il ferro per es. tra zero e 100 gradi ha in misura media per calorico specifico 0,1098, tra zero e 200° diventa di 0,1150, tra zero e 300° di 0,1218 e tra zero e 350° di 0,1255. D'ordinario i corpi si prendono nelle sperienze dei calori specifici entro i limiti di zero e 20° centesimali. In generale il calorico specifico della medesima materia varia sensibilmente al variare la sua densità. I calori specifici dei solidi si prendono quasi sempre ad eguali masse: per dedurre da questi i calori specifici a parità di volume bisogna moltiplicarli per la densità delle materie corrispondenti nelle stesse circostanze di temperatura. De' fluidi liquidi ed aeriformi si esprime d'ordinario il calorico specifico allo stesso volume. L'aria, che è 770 volte meno densa dell'acqua, ha relativamente a questo liquido, preso per unità e ad egual massa, il calorico specifico espresso da 0,2669, e per aver quello a parità di volume bisogna moltiplicarlo per un 770$^{mo}$, o per 0,0013, ciò che dà pel calorico specifico dell'aria, relativamente all'acqua ad egual volume, 0,000347.

1039. L'acqua possiede il maggior calorico specifico di tutti i corpi solidi e liquidi ed anche dei gas sotto egual volume. A parità di temperatura quel liquido è atto per ciò a somministrare maggior quantità di calorico di qualunque altro corpo per abbassarsi dell'egual numero di gradi. Se un ambiente, invece d'essere pieno d'aria atmosferica, contenesse altrettant'acqua, si riscalderebbe molto lentamente, perchè il calorico specifico dell'aria, a parità di volume, è soltanto di 0,000347 di quello dell'acqua, ossia questo liquido è capace di 2882 volte più calorico dell'altro fluido. Una volta però che

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. II, pag. 128

l'acqua fosse riscaldata alla medesima temperatura impiegherebbe, per raffreddarsi dello stesso numero di gradi, un tempo 2882 volte maggiore.

La grande capacità dell'acqua pel calorico, in confronto anche di alcuni solidi, è stata applicata a diversi bisogni sociali. Gli scaldatoi ad acqua consistono in cassette di metallo piene d'acqua elevata ad una certa temperatura e servono per tenere caldi i piedi durante la fredda stagione. In parecchi ospedali dell'Inghilterra e in alcune città d'Italia si usano somiglianti scaldatoi per applicare il calore a qualche parte del corpo in alcune malattie, invece di far uso di pannolini riscaldati, la cui capacità è piccolissima in confronto dell'acqua, per cui si raffreddano celeremente.

L'alcoole ha una capacità pel calorico venti e più volte quella del mercurio; è per tal motivo che i termometri fatti con questo liquido risentono più presto gli effetti del calorico e riescono per conseguenza più sensibili dei termometri ad alcoole.

1040. Accade bene spesso di vedere che, riscaldando sino a fondersi l'estremo d'un pezzo di vetro, si può impunemente tenerlo fra le mani per l'altro estremo ed applicarlo ben anche alle labbra per soffiarne una bolla, come nella costruzione dei termometri. Del pari un fornello di ferro pieno di carboni ardenti può essere trasportato con sicurezza prendendolo pel manico di legno; ed un pezzo di carbone acceso da un lato può essere senza pericolo maneggiato dall'altro. In tutti questi casi ed ogni altro consimile non è che il calorico abbia la proprietà di ristarsi in una delle parti del corpo, ma conserva sempre la sua tendenza ad equilibrarsi propagandosi lentamente nell'altra. Tant'è ciò vero che, lasciando trascorrere il tempo necessario, il calorico si trasfonde all'estremità opposta producendovi gli effetti corrispondenti. Questi fatti dunque non ledono le stabilite dottrine dell'equilibrio (§. 1032); ma dimostrano invece che i corpi sono più o meno atti a trasmettere il calorico che ricevono. I fisici quindi con molto accorgimento, per denotare questa diversa attitudine dei corpi a propagare il calorico, chiamarono *buoni conduttori* o *deferenti* quelli i quali lo diffondono con facilità, per distinguerli dagli altri che denominarono *cattivi conduttori* o *coibenti*. I primi si dicono perciò dotati della facoltà conduttrice ossia *conduttricità* o *conducibilità*, i secondi della facoltà coibente o *coibenza*. Alcuni distinguono la conducibilità esteriore lungo la superficie che chiamano *penetrabilità pel calorico*, mentre la conducibilità per le molecole interne e per la massa viene chiamata *permeabilità pel calorico*.

La diffusione si fa più o meno rapidamente secondo la natura dei corpi. I buoni conduttori s'impossessano facilmente del calorico e, in virtù della permeabilità, prendono in tutta la loro massa la temperatura debita al grado di calore, da cui sono investiti. Nei cattivi conduttori al contrario difficilmente s'interna il calorico, il quale si diffonde lentamente lungo la superficie per mettersi in equilibrio su tutte le loro parti

1041. La legge che segue il calorico nel propagarsi pei corpi differisce secondo la loro conducibilità e la loro capacità pel medesimo. La propagazione succede tanto più celeremente quanto più il corpo è conduttore e quanto meno è capace pel calorico. La legge dell'intensità in ragione inversa del quadrato delle distanze, che si verifica in tutte le emanazioni per isfera come è della gravità (§. 125) e della luce (§. 742), si verificherebbe eziandio pel calorico repente se la sorgente calorifica fosse circondata interamente da materia omogenea, che si estendesse indefinitamente e che non presentasse verun ostacolo alla propagazione di quel fluido e non l'assorbisse. Nei precedenti paragrafi si è veduto che i corpi sono differentemente capaci pel calorico e quanto prima apprenderemo, colla scorta dell'esperienza, che essi sono anche differentemente conduttori del medesimo. I metalli sono i migliori conduttori e fra essi primeggia l'oro, l'argento ed il rame e poscia seguono gli altri metalli ed altre materie che vanno gradatamente decrescendo nella facoltà conduttrice, sinchè si giunge ai corpi più o meno coibenti, come quanto prima dimostreremo coll'esperienza. Ora dobbiamo occuparci della legge che segue il calorico nel propagarsi lungo le verghe metalliche.

1042. Si abbia una verga metallica omogenea e d'eguali dimensioni in tutta la sua lunghezza esposta con una sua estremità ad una sorgente costante di calorico. Si divida essa in un certo numero di sezioni trasversali egualmente distanti, e siano queste $s$, $s'$, $s''$, $s'''$, ecc.: la sezione $s'$ riceverà calorico dalla precedente $s$ la più vicina alla sorgente e ne comunicherà alla seguente $s''$. Laonde $s'$ avrà un'elevazione di temperatura proporzionale all'eccesso di quella di $s$ sopra la propria, ed un abbassamento proporzionale all'eccesso della sua temperatura su quella di $s''$. È chiaro che se la verga non provasse veruna dispersione di calorico, la temperatura dell'ultima sezione e così quelle delle precedenti andrebbero sempre più elevandosi, sinchè tutte avessero raggiunto la temperatura della sorgente. Ma succede sempre una perdita di calorico per irradiazione e per contatto dell'aria; per cui le temperature di ciascuna sezione s'innal-

zano necessariamente con maggior lentezza che nella supposizione d'una perdita nulla e non raggiungono mai ad avere il calore della sorgente. Le temperature delle sezioni cesseranno di elevarsi allorquando il calorico ricevuto sia eguale a quello perduto, ed allora lo stato termometrico della verga diventa stazionario, e le temperature di tutte le sezioni della verga vanno decrescendo dall'estremità a contatto colla sorgente sino a quella opposta. Se il metallo è fra i migliori conduttori si trova coll'esperienza che, *mentre le distanze dalla sorgente calorifica crescono in progressione aritmetica, le temperature decrescono in progressione geometrica*; o in altri termini, mentre la differenza delle distanze di due sezioni consecutive deve sempre dare lo stesso residuo, il quoziente delle due temperature corrispondenti deve del pari conservarsi costante.

L'esperimento seguente è stato istituito con una verga di rame a sezione quadrata di 21 millimetri di lato. In questa verga erano fatte delle cavità circolari di 10 in 10 centimetrì di distanza, nelle quali entravano i bulbi dei termometri. Il diametro di quelle cavità era di 6 millimetri e poco meno quello dei bulbi, i quali all'intorno erano circondati da mercurio versato nelle cavità medesime per rendere più intimo il contatto, e s'internavano nella verga sino a due terzi della sua grossezza. La verga era riscaldata ad un'estremità per mezzo d'una lampada ad olio; tuttavolta serve eziandio di sorgente calorifica un liquido non così facile ad evaporare, come olio o mercurio mantenuto ad una temperatura costante in un fornello riscaldato con una lampada (fig. 233). L'impiego della lampada presenta qualche vantaggio: si regola facilmente l'azione del calore, e non riscalda sensibilmente il luogo dove s'istituisce l'esperimento. La temperatura dell'ambiente è indicata per mezzo d'un termometro assai sensibile. Bisogna cercar di rendere questa temperatura costante, condizione necessaria per raggiungere l'esattezza nei risultamenti. L'esperienza dura talvolta sino a 6 ore. In generale bastano due o tre ore per ridurre i termometri allo stato stazionario. I risultati ottenuti sono esposti nel seguente quadro, essendosi trovata la temperatura dell'ambiente di 17°,08.

| TERMOMETRI | TEMPERATURE | ECCESSI delle temperature | QUOZIENTI |
|---|---|---|---|
| 1 | 83°,44 | 66°,36 | 1,43 |
| 2 | 63,36 | 46,28 | 1,42 |
| 3 | 49,70 | 32,62 | 1,34 |
| 4 | 41,40 | 24,32 | 1,31 |
| 5 | 35,71 | 18,63 | 1,15 |
| 6 | 33,26 | 16,18 | |

Le distanze dei termometri dalla sorgente calorifica crescono progressivamente di 10 in 10 centimetri, mentre le temperature decrescono sensibilmente in progressione geometrica il cui rapporto è prossimamente eguale. Con verghe d'oro od argento si otterrebbero dei risultati ancor più esatti, per essere questi metalli meglio conduttori del rame. Sperienze consimili istituite con verghe di ferro, di stagno, di zinco e di piombo, coperte della stessa vernice, affine di dar loro la stessa superficie irradiante, dimostrano che il decrescimento della temperatura va tanto più discostandosi dalla progressione geometrica, quanto meno il metallo è conduttore. Il piombo è quello che si discosta di più, come meno conduttore degli altri metalli. Laonde la legge annunziata è vera soltanto pei migliori conduttori del calorico. Il decrescimento della temperatura è tanto più rapido quanto più la verga ha piccole dimensioni. Per due verghe dello stesso metallo e di differenti grossezze, le distanze dalla sorgente calorifica, alle quali si ha l'eguale temperatura, sono prossimamente come le radici quadrate delle grossezze medesime. È questa la ragione per cui si tiene impunemente colla mano un sottile filo metallico ad alcuni centimetri di distanza dal punto ove è riscaldato al calor rosso, mentre nelle stesse circostanze non si potrebbe sopportare una verga di alcuni centimetri di grossezza.

1043. La legge precedente della propagazione del calorico per le verghe metalliche è stata proposta da Biot come mezzo termometrico (1). Infatti, una volta che sia determinata la relazione che passa

(1) Si vegga *Traité de physique expérimentale et mathématique* par Biot. Parigi 1816, t. IV, pag. 666 e seguenti.

fra il calore della sorgente e quello che prende il primo termometro posto ad una data distanza dalla medesima, come pure la relazione fra la temperatura di questo termometro e il seguente posto pure a nota distanza; si valuta il calore d'altra sorgente osservando le temperature che prendono per essa i due termometri all'appoggio delle relazioni stabilite. Si potrebbe anche per una data verga di platino, che è un corpo meno conduttore, stabilire sperimentalmente la formola con coefficienti costanti, ed avere un pirometro da servirsene per temperature molto elevate. Ciò che impedisce l'uso di questa disposizione, come mezzo termometrico e pirometrico, si è l'influenza del calore della sorgente, che si esercita direttamente per irradiazione sulle indicazioni dei due termometri, ed è forse per questo che non è stato accolto come strumento (§. 1010) avendo servito soltanto per indagini particolari.

Fontana nella succitata lettera (§. 991) fa conoscere d'avere istituite delle sperienze dirette a determinare le leggi che segue il calorico nel propagarsi pei conduttori. *In quest'occasione*, egli dice, *ho voluto esaminare come decresce il calore dell'acqua bollente quando è messa dentro dei vasi, che stanno gli uni negli altri. Ho trovato le leggi dei calori nei vasi di diversa natura e nei vasi aperti e chiusi nel fondo. Tutti questi vasi, che stavano l'uno dentro l'altro, erano immersi nel vaso più grande, dove l'acqua si manteneva sempre al grado di bollore. È incredibile quanto siano grandi le differenze, diverse le leggi nelle diverse materie dei vasi e quante nuove verità si presentano.* Colla scorta delle suddette leggi egli proponeva la soluzione del seguente problema analogo a quello che dipende dalla legge surriferita. *Determinare quanti vasi si vogliono gli uni dentro gli altri collocati nell'acqua sempre bollente, perchè l'acqua nell'ultimo vaso sia eguale a zero, essendo la temperatura dell'atmosfera a zero o poco al disotto.*

**1044.** Interessa di conoscere in qual maniera si determina la differente conducibilità dei corpi pel calorico. A tal fine Ingenhouz preparava dei fili formati di differente metallo, del diametro ciascuno di qualche millimetro $\left(\frac{1}{22}\text{ di pollice}\right)$ e della stessa lunghezza, che serrava fra due regoli di legno tenendoli alla distanza l'uno dall'altro di quasi 3 centimetri e sporgenti egualmente da ambedue le parti. Li copriva da un lato di cera tuffandoli nella medesima previamente fusa e poscia estraendoli. Così disposti i fili ne immergeva il lato nudo nell'olio molto riscaldato, il calorico transitava per essi in ragione

della loro conducibilità e giungeva a fondere più o men presto la cera sovraposta alla superficie del lato opposto. Dai tempi trascorsi per la fusione dello strato di cera egli deduceva il grado di conducibilità dei metalli. È in questa maniera che egli classificò i metalli più noti per riguardo alla facoltà conduttrice secondo l'ordine seguente, incominciando dal miglior conduttore: *argento, oro, rame, stagno, platino, ferro, acciaio* e *piombo*. L'esperienza d'Ingenhouz si suole istituire per le dimostrazioni nella scuola, essendosi costrutto per maggior comodo un apparato. Esso consiste in una cassetta parallelepipeda fatta di lamine d'ottone molto più lunga che larga. Sulla maggior parete vi sono assicurati, dentro fori, dei cilindretti di diversi metalli, che s'internano per alcuni millimetri e sporgono all'esterno per la lunghezza di 10 in 12 centimetri (fig. 234). Si coprono i cilindretti dell'eguale strato di cera e si versa dell'acqua bollente nel vaso, il cui calorico si comunica a quei metalli e fonde la cera in tempi tanto più brevi quanto è maggiore la loro conducibilità.

Buffon, per istabilire la diversa conducibilità dei solidi, ne formava delle palle del diametro di circa 16 centimetri (poll. 6) e le portava alla stessa temperatura; le lasciava poscia raffreddare per l'eguale numero di gradi e notava i tempi che essi impiegavano. Deduceva da questi tempi la loro facoltà relativa di condurre il calorico, avendo in tal modo classificato i metalli nell'ordine seguente: *argento, rame, oro, stagno, ferro, acciaio* e *piombo*. Da questo metodo non si devono attendere dei risultamenti esatti sapendosi che i tempi di raffreddamento dipendono piuttosto dal calorico specifico (§. 1037) che dalla conducibilità dei corpi.

1045. Rumford inviluppava il bulbo d'un termometro colle materie, di cui voleva valutare la conducibilità, osservando i tempi che, partendo da una data temperatura, impiegava ogni volta ad abbassarsi dello stesso numero di gradi posto nel medesimo ambiente. Operando in tal maniera, egli trovò le seguenti materie dotate di conducibilità decrescente nell'ordine seguente. *aria — tela — cotone filato — cenere ben asciutta — lana filata — polvere di carbone — filaticcio sottilissimo — borra di cotone — lana ordinaria — nero-fumo — seta cruda — pelo di castoro — piuma — pelo di lepre — polvere di licopodio.* L'aria sarebbe il conduttore meno imperfetto, mentre il licopodio risulterebbe il più cattivo di tutte le materie cimentate. Con questo metodo però non si possono avere che risultati erronei: giacchè vi ha influenza nella determinazione il calorico specifico, che si

deduce appunto collo stesso metodo (§. 1037). D'altronde i risultati medesimi dipendono di più dalla facoltà irradiante di ciascuna materia che dalla loro conducibilità, come quanto prima dimostreremo. Si osservi altresì la difficoltà di dare allo strato d'ògni materia l'eguale grossezza per ottenere anche a questo riguardo deduzioni comparabili, notando che per l'aria l'autore lasciava nudo il bulbo del termometro, circostanza ben differente da quella con cui si sperimentavano le altre materie. A malgrado della poca fiducia, che devesi riporre nei risultati di Rumford, abbiamo creduto di riferirli, in quanto che essi riguardano materie, che per la loro debolissima conducibilità non furono sottoposte alla prova da altri fisici.

1046. Allo scopo di mostrare nella scuola il differente grado di conducibilità dei corpi pel calorico, io ho disposto un apparecchio, che riesce più comodo e più esatto di quello d'Ingenhouz per un esperimento scientifico. Esso consiste in un vaso cilindrico di lamina d'ottone, la cui superficie esterna è tenuta ben tersa e pulita per rendere minima l'irradiazione; e in cilindri massicci d'eguale diametro e lunghezza formati delle materie, di cui si vuol mettere alla prova la facoltà conduttrice. Ciascun cilindro ha scavato lungo l'asse un foro del diametro di circa un centimetro e della profondità d'un quarto o di un quarto dell'intera loro lunghezza. Nella cavità d'ogni cilindro s'introduce il bulbo d'un termometro, che si mette a contatto col fondo della medesima. Per la comparabilità dei risultati, i termometri devono avere, per quanto è possibile, i bulbi d'egual diametro, i quali si mettono in esatta congiunzione colle pareti delle cavità riempiendole di mercurio o d'olio. A qualche centimetro dalla sommità i cilindri hanno all'ingiro un piccolo orlo rilevato, col quale appoggiano sul contorno di fori fatti in un sottile disco di legno di diametro esattamente eguale a quello del vaso, a cui serve di coperchio. Il vaso si riempie sino ad una certa altezza d'olio o d'acqua, che si riscalda all'ebollizione con una lampada ad alcoole. Allorchè si è raggiunta questa temperatura, si chiude il vaso col disco di legno e s'immergono così i cilindri nel liquido per porzioni eguali della loro lunghezza.

La temperatura del liquido si mantiene costante, il calorico si comunica alle estremità dei cilindri, i quali, secondo la loro conducibilità, lo trasmettono ai termometri, le cui colonnette si elevano ad una data temperatura in tempi più o meno corti in ragione della conducibilità. Notando questi tempi, essi saranno inversamente proporzionali all'attitudine propria di ciascun solido a condurre il calorico,

e ne daranno il rapporto relativo. Adoperando l'olio invece dell'acqua non si hanno vapori, che s'innalzano dal liquido e che riscaldano i cilindri depositandosi sulla superficie libera; per cui i rapporti rinvenuti son più esatti. La fig. 235 basta alla semplice ispezione per far meglio conoscere la disposizione dell'apparato.

1047. Despretz si è servito del suesposto principio (§. 1042) per mettere a confronto la facoltà conduttrice di differenti corpi, configurati in verghe prismatiche dell'egual grossezza, le quali copriva di vernice per rendere uniforme in ciascuna la facoltà irradiante (1). Colla formola $y=\frac{1}{(log.\ x)^2}$, data da Fourier, egli calcolava la facoltà conduttrice del corpo cimentato, dove $x$ si determina coll'equazione $\frac{x^2+1}{x}=q$, essendo $q$ il quoziente risultante dalla divisione della somma di due eccessi di temperatura per l'ecceso intermedio. Fourier nella sua memoria: *Théorie analitique de la chaleur* inserita negli atti dell'Accademia francese, ha stabilito una formola più complicata per calcolare la conducibilità all'appoggio dei dati ottenuti col suo così detto *termometro di contatto*, il quale consiste in un vaso conico di sottile lastra di ferro od anche di vetro, chiuso verso il fondo con una grossa pelle. Il bulbo di un termometro, che dà le più piccole frazioni di grado, è tenuto immerso, mediante un tappo di sovero, nel mercurio di cui è pieno il vaso conico. Il corpo da cimentarsi si colloca al disotto della pelle configurato in grossa lamina. Si osservano le temperature successive che prende il termometro previamente riscaldato per avere i dati necessarii al calcolo della conducibilità.

I risultati, ottenuti da Despretz colla formola su riportata e coi dati delle sue esperienze, sono esposti nel seguente quadro.

*Conducibilità di alcuni solidi.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Oro | 1000 | Stagno | 303,9 |
| Platino | 981 | Piombo | 179,6 |
| Argento | 973 | Marmo | 23,6 |
| Rame | 898,2 | Porcellana | 12,2 |
| Ferro | 374,3 | Terra da mattoni e da fornelli | 11,4 |
| Zinco | 363 | | |

La grande differenza, che passa fra il potere conduttore dei metalli e delle terre, non ha potuto lungo tempo sfuggire all'osserva-

(1) Vedi *Annales de chimie et de physique*, t. XXXVI, pag. 422.

zione, anche prima dei risultati surriferiti. Il legno inoltre è un conduttore così imperfetto pel calorico che Despretz in un'esperienza, nella quale voleva paragonare la sua facoltà conduttrice con quella del ferro, l'ha abbruciato ad una delle estremità senza poterlo riscaldare ad alcuni centimetri di distanza. De la Rive e Decandolle (1), adoperando un metodo consimile al precedente, sottoposero al cimento legni ben secchi e trovarono: 1° che questi spiegano maggior facoltà conduttrice lungo la direzione delle fibre che trasversalmente; 2° che, tanto nella conducibilità longitudinale che nella trasversale, il legno di noce supera quello di quercia e questo l'abete; manifestando però maggior differenza l'uno dall'altro nella direzione trasversale che nella longitudinale; 3° che la conducibilità del sovero è inferiore a quella dello stesso abete cimentato trasversalmente.

1048. I liquidi conducono in generale molto meno il calorico dei solidi. La maniera ordinaria di riscaldarli non si presta a far conoscere la loro conducibilità; giacchè in tali casi il calorico viene trasportato coi movimenti che essi concepiscono in virtù delle leggi dell'idrostatica (§. 967), e non si fa strada a traverso la loro massa per portarsi a riscaldare le molecole più distanti dalla sorgente calorifica. Rumford negava ai liquidi il potere conduttore pel calorico. Questo fisico fondava la sua opinione su sperienze d'altronde ingegnose, e riteneva che il calorico non potesse penetrare in un liquido in riposo, quando è riscaldato alla superficie superiore.

Le sperienze di Nicholson e di Pictet dimostrarono però che, riscaldando un liquido alla sua superficie superiore mediante la sovrapposizione di un disco metallico, il calorico lo attraversa manifestando la sua azione sul termometro posto al fondo del vaso, dove il liquido stesso si contiene. Il vaso era fatto di materia poco conduttrice del calorico, affine di evitare la propagazione di questo fluido per le pareti. Dalle loro sperienze risulta che la propagazione del calorico dall'alto al basso è 6 volte più lenta nell'olio che nel mercurio. Murray ha opposto all'opinione di Rumford sperienze più dirette e decisive. Egli ha collocato il bulbo del termometro al fondo d'un vaso cilindrico di ghiaccio, che ha riempiuto alternativamente d'olio e di mercurio; poscia ha avvicinato un corpo caldo alla superficie superiore del liquido ed ha trovato che il termometro s'innalzava di parecchi gradi. La propagazione del calorico in questo caso non dipendeva certamente dalle pareti del vaso, altrimenti il ghiaccio l'avrebbe

(1) *Bibliothéque universelle*, t. XXXIX, pag. 206.

assorbito: il calorico stesso dunque nella sua azione sul termometro doveva necessariamente transitare pel liquido. Da queste sperienze risulta pure che il mercurio è più conduttore dell'olio. Infine diremo che Despretz, in una memoria letta all'Accademia di Francia il giorno 26 novembre 1838, ha dimostrato che la legge di propagazione del calorico pei liquidi è conforme a quella pei corpi solidi, ripetendo una delle sperienze avanti all'Accademia medesima, nella quale le temperature erano notate di ora in ora senza interruzione durante l'intervallo di 36 ore.

In generale dunque i liquidi sono cattivi conduttori del calorico, e nella scuola si dimostra questa proprietà coll'apparecchio della figura 236, formato di un bicchiere di vetro al cui fondo è assicurato orizzontalmente il bulbo del termometro. Si riempie il vaso d'acqua, e si versa poscia dell'alcoole che, pel suo minor peso specifico, galleggia su quel liquido. Fatto ciò si accende l'alcoole, che nell'abbruciare riscalda superiormente l'acqua. Il calorico in tal modo comunicato superiormente si propaga pel liquido e si manifesta al termometro posto sul fondo.

1049. I fluidi aeriformi sono cattivi conduttori del calorico, ed il minimo grado di cui sono dotati è difficile ad essere riconosciuto in causa dell'estrema mobilità delle loro particelle. Se la massa fluida è riscaldata al disotto o lateralmente, si sa che le sue molecole concepiscono un movimento (§. 964), nel quale quelle riscaldate comunicano il calorico alle altre, per cui il fenomeno non è dovuto alla conducibilità. Bisogna quindi che i fluidi aeriformi siano riscaldati superiormente, come si è fatto dei liquidi, affine di constatare la loro facoltà conduttrice pel calorico. Si osservi intanto che gli areostati si gonfiano prestamente in causa dei raggi solari, che colpiscono l'emisfero superiore, per cui il calorico, che si comunica agli strati più elevati del gas, passa a riscaldare quelli successivi ed a produrre per conseguenza la dilatazione in tutta la massa fluida.

Rumford a tal proposito ha istituito una serie d'esperienze con un termometro, il cui bulbo era rinchiuso in una sfera cava di vetro, che riempiva o d'aria ben secca, o d'aria umida, o di vapore acqueo, o di mercurio, ed anche la vuotava interamente d'ogni sostanza ponderabile riunendola ad un lungo tubo, in cui versava del mercurio ben purgato, e che poscia capovolgeva e lasciava in quella capacità lo spazio vuoto. Chiudeva questo spazio a tenuta d'aria fondendone il vetro. I tubi termometrici così disposti erano raffreddati nell'acqua del ghiaccio e poscia portati nell'acqua bollente, osservando il tempo

che impiegavano nel riscaldarsi ad 80° ottagesimali; oppure li riscaldava dapprima ad 80° ed osservava il tempo che impiegavano a raffreddarsi nell'acqua gelida. Riteneva che i tempi di riscaldamento o di raffreddamento dello stesso numero di gradi fossero in ragion inversa del potere conduttore delle sostanze interposte fra il bulbo del termometro e le pareti del vaso di vetro, dove si trovava rinchiuso. Da tali esperienze egli dedusse il potere conduttore come segue: mercurio 1000 — aria umida 330 — acqua 313 — aria comune 80,41 — aria rarefatta 80,25 — aria ancor più rarefatta 78 — vuoto torricelliano 55.

Rumford istituiva queste sperienze, come le altre superiormente riportate, verso l'anno 1785, epoca in cui i mezzi per indagare la natura non erano portati alla perfezione cui si trovano oggidì. In queste sperienze, oltre la diversa capacità, i fluidi aeriformi non potevano andare esenti da quei movimenti, pei quali si propaga il calorico indipendentemente dalla facoltà conduttrice dei fluidi medesimi. In mancanza però d'indagini dirette sul potere conduttore dei fluidi aeriformi, abbiamo creduto di riportare i risultati dell'illustre fisico inglese.

1050. Tutte le sperienze istituite conducono alla conseguenza che i diversi corpi non propagano egualmente il calorico, e che i metalli sono i migliori conduttori nell'ordine surriferito. Dopo i metalli, quantunque ad una grande distanza, si presentano i marmi e le diverse pietre, la terraglia, la maiolica, la porcellana, il vetro, i mattoni, l'argilla e in generale le terre cotte. Della conducibilità di alcune di queste materie si ha una prova nei termometri a bulbo di vetro e in quello a bulbo di porcellana (§. 1010). Si danno dei corpi così cattivi conduttori del calorico; che si sono posti in una classe a parte, essendosi distinti, quantunque non a rigore, col nome di *coibenti*: tali sono i legni principalmente secchi, fra i quali primeggia il sovero; vengono poscia le ceneri, il carbone specialmente in polvere, la lana, la seta, il cotone, le piume e in generale i corpi porosi e finamente divisi. I tessuti di lino e la carta sono meno coibenti di quelli di lana e di seta. Il ghiaccio, i grassi, il solfo e l'ammianto sono compresi fra i migliori coibenti. La carne e in generale le sostanze animali e vegetali sono pure pochissimo conduttori del calorico, per cui si annoverano fra i corpi coibenti. I corpi i più cattivi conduttori, ridotti a piccolissime dimensioni, si possono ritenere come veri coibenti. I fluidi liquidi ed aeriformi appartengono alla classe dei più imperfetti conduttori del calorico. Nella scuola si suole dimostrare

la poca conducibilità dell'ammianto, prendendo e sostenendo per qualche tempo una verga di ferro rovente colla mano avvolta in guanto costrutto col tessuto di quella materia.

La facoltà conduttrice dei corpi non si mantiene la stessa a tutte le temperature. I solidi, quando si avvicinano al loro punto di fusione, sono molto men conduttori di quando si trovano alla temperatura notabilmente al disotto di tale punto (1). Finora non si è scoperto che il grado di conducibilità abbia qualche relazione con altre proprietà fisiche dei corpi.

Dalla diversa conducibilità dei corpi pel calorico dipende la spiegazione di parecchi fenomeni ed effetti, che andremo successivamente dichiarando nei seguenti paragrafi.

1051. Nella rigidità dell'inverno si fa uso di abiti di lana, come cattivi conduttori, per conservare il calore animale. Incominciando dalle meno coibenti, alcune materie sono atte a ritenere il calore nell'ordine seguente: lino, cotone, lana, seta, pelo di castoro, piuma, pelo di coniglio. I bracieri ed i caldani come pure le caffettiere e simili si muniscono di manico di legno per poterli trasportare senza pericolo di scottarsi, e i ferri da stirare la biancheria ecc. si maneggiano pure col mezzo di materie coibenti. I teneri arboscelli e le piante esotiche s'inviluppano di paglia tanto per conservare loro il calor naturale nella rigida stagione, come per difenderli dalla sferza dei raggi solari in quella calda. Le tettoie di paglia, che si applicano alle ghiacciaie invece delle tegole comuni, servono meglio ad impedire l'azione del calore esterno. I fornelli di ferro s'intonacano al di dentro di luto composto d'argilla e carbone polverizzato per impedire lateralmente la dispersione del calorico; lo stesso si pratica sulle porte di ferro con cui si chiudono le bocche dei forni, delle fornaci, delle vetraie e simili per impedire a traverso di esse la dispersione del calore interno.

Le abitazioni a pavimento ed a pareti di legno conservano più a lungo il calore d'inverno di quelle a pareti di mattoni; come pure risentono meno l'azione della cocente temperatura dell'estate. Lo stesso si dica per esse dei tetti di legno in confronto di quelli fatti con tegole d'ardesia o di terra cotta o con lamine di metallo. L'acqua è mantenuta più a lungo fresca d'estate e calda d'inverno, in vasi di legno che in quelli di metallo. L'ostacolo alla dispersione del calorico non è solo in ragione della massa del corpo che serve d'invo-

(1) Si vegga il *Traité de physique* ecc. par Biot, t. IV, pag. 684.

lucro o di copertura, ma eziandio in ragione della sua coibenza; ed è perciò che meglio delle coltri di lana conservano il calore le trapunte fatte di materie soffici, che racchiudono negli interstizi dell'aria e ne impediscono i movimenti, per cui questo fluido s'oppone per la sua coibenza alla dispersione del calore. Tali sono le trapunte fatte con borra di cotone, di lanugine, di piuma e simili, le quali alla leggerezza uniscono la proprietà di mantenere al corpo il calore naturale. Lo strato d'aria racchiuso dalle doppie vetriate applicate alle finestre impedisce, per la sua grande coibenza, la dispersione del calore. L'aria, che è trattenuta fra le vestimenta e il nostro corpo, ne rende più difficile, per la sua coibenza, il raffreddamento. All'incontro se l'aria s'introduce liberamente fra le vesti, si riscalda, e pel suo minor peso specifico è espulsa dall'esterna, la quale si riscalda e sfugge alla sua volta, e si ha così una ventilazione che contribuisce a tener fresco il corpo. Le vestimenta, poco atte a condurre il calorico, sarebbero da preferirsi per ogni stagione: è mestieri però d'impedire d'inverno ed agevolare d'estate una corrente d'aria nell'intervallo compreso fra questi tessuti e la superficie del corpo. Un sottilissimo tessuto strettamente aderente alle membra, ne rimove l'aria che si oppone alla propagazione del calorico, al quale esso non osta in pari gradi. È appunto per ciò che certi guanti aderenti tengono fresche le mani.

Le stufe di ferro e di ghisa riscaldano più presto gli ambienti di quelle formate di terra cotta, per la maggior facoltà conduttrice delle prime materie in confronto di quest'ultima. Una volta però che sia spento il fuoco, le stanze in causa delle prime si raffreddano anche più presto. È per questo che non conviene impiegare le stufe di metallo, dove bisogna mantenere il riscaldamento durante tutto il giorno. La proprietà coibente dell'ammianto si è applicata alla costruzione degli abiti dei pompieri, coi quali questi passano a traverso alle fiamme e al fuoco degli incendi per portare a salvamento delle persone in pericolo e degli oggetti preziosi. Non farà meraviglia quindi colui, che si propone di portare i carboni ardenti sul palmo della mano, quando si sappia che vi distende prima uno strato di cenere.

1052. Dal diverso potere di conducibilità dei corpi dipende la spiegazione di alcuni singolari fenomeni molto comuni. Primieramente esso è in alcune materie così minimo che una parte della massa cangia stato prima che il tutto dia segni di mutazione. Ciò accade appunto nella liquefazione dei grassi, i quali si fondono parzialmente ed in modo che la prima a fondersi è la porzione più vicina alla sor-

gente calorifica. Il primo strato, ritenendo più o meno il calorico, ne risente più o meno gli effetti senza trasmetterne gran copia agli strati contigui. I metalli all'incontro, per la loro grande conducibilità, diffondono il calorico per ogni parte, e le loro masse ne vengono per tal modo quasi egualmente investite in ogni punto e si fondono per intero quasi in un sol momento. Le materie, che non si trasformano tutto ad un tratto in liquido, a malgrado della loro coibenza lasciano passare del calorico al secondo strato durante il tempo in cui si fonde il primo, come pure una porzione passa dal secondo strato al terzo, da questo al quarto e così via via, per cui gli strati successivi si fondono sempre più presto ed abbisognano d'una quantità di calorico sempre minore. Il ghiaccio è uno dei migliori coibenti conosciuti per cui si fonde per istrati meglio delle sostanze grasse.

1053. Dipendenti dalla grande facoltà conduttrice dei metalli sono i curiosi fenomeni seguenti. Un sottile tessuto di lino od una mussolina di cotone, distesa ad esatto combaciamento d'una lastra di rame appianata, non è abbruciata da un carbone ardente che si colloca sulla medesima, avvivando ben anche la combustione col soffio. Il calorico, che si sviluppa dal carbone, passa tosto per la sottigliezza del tessuto nel metallo, il quale per la sua grande conducibilità lo trasmette e lo disperde nel suolo. Parimenti si formi una palla colla lega fusibile a 100° (§. 1014), si avvolga strettamente ad essa della carta fina e la si esponga così disposta al calore della fiamma d'una lampada o d'una candela. Il calorico si propaga nella massa metallica, che è fusa senza che la carta acquisti la temperatura per abbruciare. Se la palla fosse formata d'una materia coibente fusibile alla stessa temperatura, la carta abbrucierebbe, potendosi allora il calorico accumulare su di essa senza penetrare nella massa della palla.

Nei vasi di vetro l'acqua per bollire richiede una temperatura un poco più elevata che nei metallici, inoltre l'ebollizione succede a sbalzi. Se si getta però sul fondo del vaso della limatura di ferro o di rame, l'ebollizione diventa regolare. Alcuni attribuiscono il fenomeno alla maggiore conducibilità del metallo in confronto del vetro. La spiegazione è apparente e non vera; giacchè il calorico, per essere comunicato all'acqua, deve ancora attraversare il vetro. Abbiamo già veduto che il fenomeno dipende dalla maggiore adesione dell'acqua col vetro che col metallo (§. 992, VII).

1054. Un altro fenomeno appartenente a questa categoria ci è offerto ogni volta che andiamo colle mani toccando i corpi esposti in un me-

desimo ambiente: ognuno di questi ci sembra diversamente caldo ad onta che siano tutti alla stessa temperatura (§. 1032). Ciò accade non per altro se non perchè, essendo i diversi corpi diversamente atti a ricevere ed a trasmettere il calorico, quelli che lo sono di più tolgono o danno al nostro corpo il calorico, che loro manca o cresce onde mettersi in equilibrio di temperatura più presto che non facciano gli altri che lo sono di meno. Perdendo noi in tal maniera od acquistando nell'egual tempo una maggior quantità di calorico, giudichiamo che quei corpi siano meno o più caldi. Tanto è ciò vero che appunto questo falso giudizio segue il rapporto dei gradi di conducibilità: così, a circostanze pari, ci sembrano più freddi i metalli dei marmi, più i marmi dei tessuti di lino, più i tessuti di lino dei legni ecc. È altresì vero che, per ottenere dopo un certo tempo l'equilibrio di temperatura, le parti del nostro corpo devono spendere diversa quantità di calorico secondo la diversa capacità dei corpi che toccano (§. 1034): ma ciò non ha diretta influenza sul fenomeno di cui si tratta; sicchè potrebbe darsi benissimo il caso in cui il corpo di maggior capacità sembrasse ai nostri sensi più caldo d'altro di capacità minore. Si verificherebbe il caso appunto allorchè il corpo, capace di toglierci 10 dosi di calorico, ce ne levasse per la sua poca conducibilità una dose ogni 5″; mentre l'altro, capace di toglierci una sola dose, tutta questa ce la togliesse in 1″. In tale supposto l'ultimo di questi corpi ci sembrerebbe 5 volte meno caldo del primo ad onta che alla fine non ci tolga che la decima parte di calorico presaci dal primo. Per l'egual ragione troviamo più fredda ai piedi la camera, il cui pavimento è formato di lastre di pietra o di mattoni, di quella che l'ha fatto di legno, quantunque ambedue siano alla stessa temperatura. Parimenti nei giorni nebbiosi l'atmosfera riesce più conduttrice del calorico, ed è per ciò che ci sembra più fredda che nei tempi sereni e secchi, quantunque abbia anche minore temperatura.

All'appoggio di ciò, il tatto, in mancanza d'altro metodo, potrebbe servire a dar un'idea della più o meno grande conducibilità dei corpi pel calorico. I mineralisti infatti usano di questo metodo per giudicare del potere conduttore dei diversi corpi.

1055. Ho insistito su questo proposito, onde chi s'inizia nella scienza venga a conoscere pienamente ciò che debbasi intendere per *freddo*, al qual vocabolo suolsi d'ordinario applicare l'idea d'una sostanza realmente esistente atta a produrre effetti contrari a quelli del calorico. Da quanto si è detto si apprende altro non essere il

freddo che una sensazione in noi suscitata dalla sottrazione del calorico dal nostro corpo; sottrazione che è relativa ai gradi d'attitudine accidentale che hanno i corpi d'operarla, in modo che ci ponno sembrare più freddi quei corpi che in realtà contengono maggior quantità di calorico. Anzi può una persona provare nello stesso tempo la sensazione di caldo e di freddo mettendosi a contatto collo stesso corpo. Tenete per alcuni minuti la mano destra, per es. immersa nell'acqua di fusione del ghiaccio e fate attignere un secchio d'acqua dal pozzo la quale ordinariamente ha la temperatura di circa 14° centesimali; levate la mano destra dal liquido del ghiaccio ed immergetela tosto assieme alla sinistra nell'acqua del pozzo: alla mano destra proverete la sensazione di caldo ed alla sinistra quella di freddo. Nel primo caso, essendo la temperatura della mano prossima a zero, essa riceve calorico dall'acqua di pozzo a 14°, e perciò si ha la sensazione di caldo; nel secondo, trovandosi la mano alla temperatura di 35° del corpo umano, o almeno a quella dell'ambiente che si suppone essere maggiore di 14°, somministra calorico alla stessa acqua e si prova quindi la sensazione di freddo. Si può avere la sensazione di caldo in qualche caso eziandio colla sottrazione di calorico, basta che poco prima la sottrazione sia maggiore; come pure sentire freddo col ricevere calorico, quando se ne riceva meno che per l'avanti. In generale tanto più ci sembreranno freddi quei corpi, quanto più la loro temperatura è al disotto del calore umano e quanto più sono buoni conduttori. Conchiuderemo dunque che *il freddo altro non è che una sottrazione o negazione di calorico, e che freddo assolutamente sarebbe quel corpo in cui non esistesse punto di calorico sensibile.* Questo corpo ipotetico costituirebbe un termine fisso, onde procedere alla vera stima di tutte le temperature, di cui sarebbe lo zero assoluto e reale (§. 1012).

1056. Da quanto si disse si apprende come si facciano alcuni falsi giudizi sulla temperatura dei corpi, ossia si cada in *errori di sensazione.* Comunemente i sotterranei, come le cantine, le grotte e simili, si giudicano più caldi d'inverno che d'estate, quantunque sia tutto all'opposto. Nella fredda stagione si prova all'aria aperta la temperatura di alcuni gradi sotto lo zero; laonde entrando in quei luoghi il corpo si trova al calore di 12 in 13 gradi sopra lo zero e si sente quindi caldo. Nell'estate invece si entra nei sotterranei sortendo da un'atmosfera a 25 in 26 gradi, e si prova perciò una frescura. Lo stesso accade dell'acqua dei pozzi, che sembra più fredda d'estate che d'inverno, essendo invece al contrario.

Era necessario il termometro per rettificare questi falsi giudizi non solo delle persone del volgo ma eziandio degli uomini dotti. Sagredo infatti fu il primo ad annunziare d'aver scoperto, col termometro inventato da Galilei, la falsità dell'opinione allora generalmente invalsa d'*essere molto più fredda l'acqua dei nostri pozzi il verno che l'estate* (1). Avanti l'invenzione di quello strumento si credeva non solo il ghiaccio privo di calorico, ma tutti i corpi che al contatto ci fanno provare la sensazione di freddo.

1057. Al principio di questa sezione si è detto che il calorico, non solo si propaga molecolarmente per la materia ponderabile, ma si slancia da ciascun punto della sorgente a somiglianza del fluido luminoso, essendosene riportati alcuni esempi famigliari (§. 1031). Ora dobbiamo occuparci del modo con cui il calorico irradiante si propaga e delle leggi che esso segue. È in questo stato che esso mostra un'esistenza analoga a quella del fluido luminoso, e che potrebbe del pari dipendere da ondulazioni impresse all'etere universale. Senza però legarci a qualsiasi sistema, procederemo ad esporre con ordine i fatti usando del linguaggio sinora adottato.

Primieramente osserveremo che il calorico si propaga nel vuoto. Newton aveva già trovato che due termometri, ciascuno de' quali era rinchiuso in un recipiente l'uno vuoto e l'altro pieno d'aria, davano ben presto segni della maggior temperatura che aveva il luogo dove erano portati, innalzandosi il liquido in essi dell'egual numero di gradi; e del pari la loro colonnetta si abbassava posti in luogo meno riscaldato (2). Da cui dedusse che il calorico, non solo si propaga per mezzo della materia ponderabile, ma si slancia attraverso lo spazio vuoto alla maniera della luce che irradia per gli spazi celesti. Ai tempi del grande filosofo inglese le macchine pneumatiche per fare il vuoto erano ancora molto imperfette, per cui nasceva il sospetto che il calorico venisse condotto per l'aria rarefatta rimasta nel recipiente. Rumford molto più tardi provò che il calorico si propaga a traverso il vuoto torricelliano (§. 1049), e parecchi anni dopo Dulong e Petit, nelle loro sperienze per determinare la legge del raffreddamento dei corpi, confermarono le deduzioni dei loro predecessori osservando come il calorico, emanato da un termometro, si diffondeva attraverso il vuoto dal centro del globo di vetro del diametro

(1) *Memorie e lettere inedite e disperse di Galilei* ecc. superiormente citate, t. I, pag. 20.

(2) Si vegga l'*Ottica* di lui alla XVIII questione.

di tre decimetri, dove era collocato. Il vuoto era fatto con una delle migliori macchine pneumatiche, che si conoscono oggidì e che portano la rarefazione dell'aria a poco più d'un millimetro.

Colla notissima sperienza dell'arco luminoso prodotto nel vuoto mediante la pila di Volta, di cui parleremo nel capitolo dell'elettrico, Davy ebbe occasione di sperimentare la propagazione del calorico nello spazio scevro di materia. Il coperchio del recipiente AB in cui si fa il vuoto colla macchina peumatica (fig. 237), è attraversato da due tubi di vetro, nei quali entrano i cilindretti metallici P, N assicurati a tenuta d'aria con mastice. Alle estremità inferiori di questi cilindri è sospeso mediante grossi fili di rame un pezzo di carbone *c*. Le due estremità esterne P, N si mettono rispettivamente in comunicazione coi poli d'un'energica pila di Volta, che impareremo a conoscere nel seguente capitolo. Tosto che si è compiuta la comunicasione, l'elettrico circola e passa pel carbone *c*, lo porta allo stato di incandescenza e getta una luce abbagliante accompagnata da calorico. Il carbone *c* è situato nel fuoco dello specchio metallico *ef*, ed all'estremità opposta del recipiente è disposto parallelamente lo specchio eguale *rs*, al cui fuoco corrisponde il bulbo *t* d'un piccolo termometro. Il calorico irradiato dal carbone *c* nello spazio vuoto del recipiente AB è riflesso dallo specchio *ef* sullo specchio opposto *rs*, e da questo concentrato sul bulbo *t* del termometro, la cui colonnetta liquida si innalza di parecchi gradi. In quest'esperimento il calorico si propaga irradiando nello spazio vuoto, non essendo presumibile che sia condotto dall'aria estremamente rarefatta, che le migliori macchine pneumatiche lasciano ancora nel recipiente. Infatti quest'aria, riscaldata in vicinanza del carbone *c*, si rarefà e pel suo minor peso specifico, che acquista, non può discendere a riscaldare il bulbo del termometro. Sostituendo al pezzo di carbone un sottile filo di platino, questo viene riscaldato e portato al calor rosso dalla corrente elettrica, che transita per esso: il calorico che diffonde fa innalzare pure di parecchi gradi il termometro sottoposto.

Riteniamo quindi che il calorico, irradiato dalle fiamme, dai corpi incandescenti e da quelli riscaldati al dissotto dell'incandescenza, si propaga nel vuoto, per cui non è mestieri dell'aria o di altra materia ponderabile per diffondersi a distanza nello spazio.

1058. Il calorico esiste allo stato irradiante, e non solo si propaga nel vuoto, ma si slancia a traverso all'aria per portarsi a distanza senza rendere sensibile l'elevazione di temperatura dei corpi intermedii. Infatti il calorico del sole giunge sulla terra dopo aver attra-

versato tutta l'atmosfera, ed ognuno sa che il suolo è più caldo dell'aria e che questa nelle alte regioni non ha una temperatura superiore a quella del ghiaccio, come verificarono coloro che s'innalzarono negli areostati. Che se in un giorno sereno l'aria vicina al suolo si riscalda, sappiamo altresì che maggiormente si riscaldano i corpi sulla terra, i quali comunicano poscia il calorico agli strati d'aria sovrapposti, e questo fluido aumenta la sua temperatura, non in causa dei raggi calorifici da cui è stato attraversato, ma bensì dal calorico che riceve dal suolo su cui si è concentrato quello portato dai raggi solari.

Ritorneremo più avanti sulla trasmissione del calorico irradiante quando lo considereremo nel suo passaggio anche attraverso i corpi solidi e liquidi. Intanto diremo che devesi studiarlo primieramente nella maniera con cui è *riflesso* dai corpi; poscia come viene *trasmesso* a traverso quelli che gli danno il passaggio; in terzo luogo da quali è più o meno *assorbito*, e infine in che modo viene dai medesimi *emesso*: il che significa che ci occuperemo del *potere riflettente*, *trasmittente*, *assorbente* ed *emittente* dei corpi pel calorico.

Nelle indagini sul calorico irradiante è mestieri di possedere degli strumenti molto sensibili e pronti ad indicare la sua presenza, e non atti a risentire l'influenza calorifica dell'ambiente, dove s'esperimenta. A tal uso serve generalmente il termoscopio (§. 1002), il termometro differenziale e l'etrioscopio (1003), come pure il termometro di Galilei (§. 984); i quali hanno tutti per corpo termoscopico l'aria più dilatabile dei liquidi e dei solidi. Questi stumenti però non valgono nella maggior parte dei casi, perchè, come vedremo, dopo le scoperte di Melloni il vetro non è egualmente permeabile ai raggi calorifici delle diverse specie di sorgenti; ossia i comuni termometri, mentre fanno conoscere le *variazioni di quantità* del calorico libero, non sono atti ad esplorare le *relazioni di qualità* dei diversi flussi calorifici. D'altronde l'effetto della dilatazione sulla materia ponderabile non è abbastanza pronto alle indicazioni per alcune particolari indagini. Fortunatamente la scienza possiede ora il *termoscopio elettrico* molto proprio per questi studi, che faremo conoscere tanto nella sua essenza quanto nella sua costruzione meccanica in uno dei seguenti capitoli. Ci limiteremo ora a dire che esso si compone di due pezzi distinti: il primo, il corpo termoscopico, è un apparecchio elettrico destinato a ricevere il flusso calorifico, e formato d'una combinazione di piccole verghe d'antimonio e bismuto riunite in un prisma quadrangolare di qualche centimetro di lato, che costituiscono una pila termelettrica:

l'altro consiste in un apparecchio elettro-magnetico detto galvanometro, la cui parte principale è un ago calamitato, che serve d'indicatore della corrente elettrica risvegliata nel primo pezzo dal calorico. I due pezzi comunicano fra loro mediante due fili metallici, che compiono il circuito per dove transita la corrente elettrica. Questa combinazione ha il grande vantaggio, come mezzo termometrico, di poter imprimere ogni specie di movimento al corpo termoscopico senza che si comunichino scosse all'indicatore, e permette altresì di leggere sul quadrante di questo i gradi senza che il calore proprio dell'osservatore sia posto in situazione d'aver influenza sui risultati.

Per distinguere gli strumenti misuratori del calorico, condotto ed accumulato nelle masse della materia ponderabile, da quelli che servono per valutare gli effetti del calorico irradiante, alcuni hanno proposto di ritenere pei primi la denominazione di *termometri*, e di chiamare i secondi col nome di *termactinometri*, dal greco *termon* calore, *actin* raggio e *metron* misura, avendosi così i *termactinometri di dilatazione* e i *termactinometri elettro-magnetici* come è il termoscopio elettrico su citato o termomoltiplicatore.

1059. Il calorico si propaga in linea retta come la luce (§. 739). Questa verità è una conseguenza d'ogni irradiazione emanata da un centro; tuttavolta ecco come si prova coll'esperienza (1). Si prende uno scrimaglio metallico assai esteso traforato nel centro e si dispone verticalmente; si colloca, alla distanza di alcuni decimetri ed alla stessa altezza del foro centrale, da un lato un corpo riscaldato a 400 gradi e dall'altro la pila del termoscopio elettrico. Se l'irradiazione calorifica oscura ed invisibile di quella sorgente (§. 1010) si propaga in linea retta, sarà mestieri che il massimo effetto sul termoscopio si mostri quando i centri della pila, del foro e della sorgente medesima si troveranno sulla medesima retta. Perlocchè, rimovendo gradatamente il corpo irradiante o quello termoscopico da questa dirittura, le indicazioni calorifiche dovranno diminuire ed alfine scomparire del tutto, quando dai punti della pila non si possono più condurre pel foro alla sorgente calorica delle linee rette. È appunto ciò che veri-

(1) Il prof. Melloni ha successivamente pubblicato, nei giornali scientifici francesi ed italiani e principalmente nei nostri *Annali di fisica* ecc., le sue Memorie sul calorico irradiante, ed ultimamente le ha ordinate e ridotte in un sol corpo per servire di complemento ai trattati di fisica. Quest'opera ha per titolo: *La termocrosi o la colorazione calorifica*, ecc. Napoli 1850, prima parte. Si vegga a pag. 116 della medesima per l'esperienza qui descritta.

fica l'esperienza: l'azione si manifesta colla maggior energia quando la pila e il corpo irradiante si trovano coi loro punti centrali sulla medesima retta condotta pel mezzo del foro dello scrimaglio. e vien meno e s'estingue del tutto quando il corpo irradiante veduto dal posto della pila resta occultato dall'orlo del foro. La dirittura dei tre punti si valuta facilmente ad occhio, ma l'esperienza diventa più persuasiva nella scuola se si determina la posizione della pila con un filo teso, che passa pel foro. I raggi calorifici definiscono di dietro allo scrimaglio la posizione dello spazio riscaldato nella stessa maniera che i raggi luminosi circoscrivono lo spazio illuminato nella camera nera entrando pel foro praticato nell'imposta della finestra (§. 748). Laonde, mentre si ha l'ombra per l'occhio all'intorno del secondo spazio in virtù di mancanza di luce, si ha l'ombra pel tatto all'intorno del primo in causa di assenza di calorico.

I raggi calorifici non vengono deviati dalla loro direzione rettilinea per l'agitazione dell'aria interposta; per convincersi di ciò si dirige dapprima il calorico irradiante della sorgente sul corpo termoscopico attendendo il tempo necessario per lasciar prendere all'indice del galvanometro una posizione fissa, poscia con un soffietto si agita l'aria sul cammino del flusso calorifico e si osserva che l'indice stesso si mantiene nella posizione d'equilibrio presa, come se il mezzo interposto fosse in perfetta calma. Bisogna però usare ogni cautela che l'aria agitata non giunga sul corpo irradiante o su quello termoscopico; alla buona riuscita dell'esperimento sarà quindi conveniente di collocare i due corpi in due recinti cilindrici muniti, nelle basi poste all'incontro, d'un foro eguale all'apertura della pila. Con ciò l'agitazione dell'aria non può così facilmente giungere sulla superficie dei due corpi.

1060. Il calorico irradiante, non solo ha grande analogia colla luce per propagarsi in linea retta ed *immediatamente* o senza servirsi dei mezzi intermedii, ma è pure dotato della proprietà di *trasmettersi instantaneamente* lungo uno spazio per l'aria atmosferica, ossia di diffondersi con un'enorme velocità al pari del fluido luminoso (§. 741). Pictet non ha potuto osservare un secondo di differenza fra l'elevazione d'un termactinometro ad aria e il punto di partenza del calorico dal corpo incandescente situato a distanza. Questo tempo, già per se stesso così piccolo, era dovuto all'inerzia del fluido, che colle sue dilatazioni doveva farne conoscere l'esistenza. Melloni col termoscopio elettrico ha dimostrato che per le distanze, cui può estendersi l'azione calorifica delle nostre sorgenti artificiali di calorico, non si

riconosce tempo percettibile nella propagazione del calorico irradiante e può considerarsi come istantanea, giacchè non si mostra differenza di tempo d'azione lasciando liberi i raggi calorifici in vicinanza del termoscopio o della sorgente (1).

Le tre proprietà di diffondersi in *linea retta, immediatamente* ed *instantaneamente* sono dunque comuni al calorico irradiante ed alla luce, e fanno già sentire fra i due agenti un'analogia d'esistenza nello spazio. Tutto c'induce a ritenere che la velocità, che si è potuto valutare nelle irradiazioni luminose, si debba riscontrare eziandio nei flussi calorifici.

1061. Una sfera di metallo rovente, sospesa nel mezzo dello spazio, diffonde quindi per ogni verso in linea retta, immediatamente ed istantaneamente dei raggi calorifici; e da qualunque lato si collochi all' intorno un termactinometro, esso dà segni dell' azione riscaldante senza che l'aria circostante cambi la sua temperatura. Si forma quindi all'ingiro del corpo rovente come una sfera di tanti raggi calorifici, i quali, a misura che si allontanano dalla comune sorgente, si discostano l'uno dall'altro sempre più per la loro divergenza. Da questa somiglianza appunto si suol dire che *il calorico si propaga per isfera* al pari della luce (§. 740); e quindi se ne trae per conseguenza che *l'intensità del calorico irradiante deve decrescere in ragione del quadrato della distanza* come la luce (§. 742). Una tale legge, che risulta come deduzione teorica dell'emanazione per isfera, non è confermata nella pratica, perchè essa e matematicamente vera per un sol punto irradiante, e per un corpo termoscopico di grande piccolezza in rapporto alla distanza; quando invece, nell'istituzione della prova, non si possono impiegare che, per l'uno e per l'altro, oggetti d'un'enorme estensione relativamente alle piccolezze delle distanze, affinchè le irradiazioni diano degli effetti valutabili. Melloni è tuttavia giunto con un metodo semplice e sicuro a verificare sperimentalmente una tal legge, fondandosi ingegnosamente sopra un principio geometrico, pel quale si può dare, al corpo irradiante il calorico, una grandissima estensione (2).

Sia *abc* un recipiente conico (fig. 238) il cui interno, incapace di riflessione, sia rivolto verso una superficie verticale fissa PQ riscaldata ad una temperatura superiore a quella dell'ambiente. Riteniamo che l'angolo al vertice *acb* del cono sia abbastanza piccolo, perchè

(1) Si vegga l'opera di lui su citata *La termocrosi*, pag. 121.

(2) Ibid. pag. 129.

il cono stesso portato a maggiore distanza nella posizione ABC, venga coi prolungamenti CAM, CBN di due lati opposti a riscontrare ancora la superficie riscaldante PQ. Supponiamo che il corpo termoscopico, ridotto ad un sol punto, sia collocato internamente al vertice del cono, il cui asse si mantiene sul prolungamento del primo, portando il cono a maggior distanza. È chiaro che, a qualunque distanza dal corpo irradiante si collochi il termoscopio, questo dovrà segnare costantemente lo stesso grado affinchè sia vera la legge annunziata. Infatti se da una parte l'intensità calorifica diminuisce col quadrato della distanza, dall'altra si accresce nell'egual rapporto per l'ingrandimento della superficie irradiante sul termoscopio. Quanto si è detto d'un sol punto si applica evidentemente ad una serie di punti del corpo termoscopico, posto al fondo del tubo conico. Imperocchè ciascuno dei medesimi sarà il vertice di altrettanti coni di raggi calorifici vibrati dalla superficie nell'apertura del tubo. Tutti questi fasci conici prenderanno delle basi crescenti in ragione dei quadrati delle distanze; e quindi l'intensità del calore rimarrà costante per aumentare nell'egual rapporto l'ingrandimento della superficie irradiante del calorico nel tubo conico.

Ammesso questo principio è facile intendere l'esperienza di Melloni. Egli l'ha instituita dapprima con un tubo conico di metallo foderato internamente di veluto nero per impedire qualunque riflessione del calorico. Verso il vertice disponeva la faccia della pila termoscopica rivolgendo l'apertura del cono verso la parete maggiore d'un vaso parallelepipedo pieno d'acqua, che riscaldava, se faceva d'uopo, sino all'ebollizione. Collocando l'apparato a differenti distanze dal corpo riscaldante, l'ago del galvanometro si manteneva sullo stesso grado di deviazione ed indicava che l'intensità del calore rimaneva costante. Questa costanza d'intensità richiede che, per ogni punto termoscopico, si verifichi la nominata legge della ragione inversa del quadrato della distanza.

Per ritenere l'azione calorifica della superficie nei limiti sopra designati secondo la distanza senza bisogno del tubo conico, Melloni ha fatto uso d'uno scrimaglio di metallo fornito al suo centro di un'apertura del diametro di 12 in 15 millimetri. Lo scrimaglio era mobile sulla verghetta MN perpendicolare al piede del sostegno NR della pila (fig. 239). I due corpi, riscaldante e riscaldato, si dispongono alla maggiore distanza possibile l'uno dall'altro, e si fa scorrere lo scrimaglio S sulla verghetta M per metterlo in quella situazione che le rette *ef*, *pq*, condotte per due punti diametralmente opposti dal-

l'apertura e dall'inviluppo termoscopico, cadono sulla superficie irradiante AB. Fatto ciò si colloca il termoscopio lungo la linea GH normale alla superficie AB del vaso, e la deviazione dell'ago galvanometrico, prodotta dall'irradiazione calorifica, si mantiene invariabile sino alla minima distanza possibile. Con un vaso riempiuto d'acqua calda, la cui parete abbia la lunghezza di 60 in 80 centimetri, si ottiene la costanza d'effetto per le distanze di alcuni centimetri sino a 50 in 60.

Per estendere l'esperimento a maggiori distanze si richiederebbero dei vasi di maggiori dimensioni, i quali, oltre la maggiore spesa, sono difficili ad essere maneggiati, e non si prestano così facilmente a mantenere il liquido ad una temperatura costante. A tale scopo Melloni consiglia di prendere come sorgente calorifica la parete d'una vasta sala. Rinfrescando un poco l'aria dell'ambiente, si ha dalla parete, che è stata percossa per alcune ore del giorno dai raggi solari, un'irradiazione calorifica sufficiente per riescire sensibile anche ad un mediocre termoscopio elettrico e di estendere l'esperimento a distanze maggiori delle su notate.

Resta dunque dimostrato sperimentalmente che *l'intensità dell'irradiazione calorifica è in ragion inversa del quadrato della distanza*. Da questo esperimento si deduce: 1° che il termoscopio elettrico si presta con esattezza nelle indagini sul calorico irradiante; 2° che fra i limiti dell'osservazione, vale a dire nell'intervallo di 5 in 6 metri, l'aria non esercita verun assorbimento sensibile sull'irradiazione dei corpi caldi. Egual limite è stato rinvenuto per l'aria in riguardo all'irradiazione dei corpi luminosi (§. 769).

1062. Il calorico irradiante è riflesso dalle superficie dei corpi secondo le stesse leggi della riflessione della luce (§. 754). Si potrebbe istituire l'esperienza collo stesso apparato che serve pel fluido luminoso (§. 754); sostituendo a questo un flusso calorifico costante che dopo essere riflesso si riceve sul corpo termoscopico. Ma siccome il concentramento delle irradiazioni nel fuoco degli specchi concavi è una conseguenza delle leggi medesime della riflessione (§§. 761 e 762); così queste leggi si mettono alla prova cogli specchi medesimi. Le prime sperienze sulla riflessione del calorico oscuro sembrano essere state fatte dagli Accademici del Cimento nelle loro osservazioni sull'irradiazione del ghiaccio (1). Quei fisici nelle loro osservazioni meteorologiche procuravano perciò di guarantire il ter-

(1) *Saggi di naturali sperienze* ecc., edizione su citata, pag. 144

mometro dall'irradiazione calorifica oscura dei corpi circostanti (1). La riflessione del calorico luminoso era conosciuta sino ai tempi di Archimede, e quindi parecchi secoli prima di quella del calorico oscuro.

L'esperimento della riflessione del calorico oscuro e luminoso si fa nella scuola cogli *specchi coniugati*. Si dispongono due specchi metallici in maniera che siano fra loro alla distanza di qualche metro ed a rincontro colle loro superficie e sulla medesima linea orizzontale coi loro assi (fig. 240). Fatto ciò si fissa nel fuoco d'uno degli specchi una palla di ferro riscaldata al calore rosso o al disotto dell'incandescenza, o un matraccio d'acqua bollente o altro corpo irradiante calorico; e si colloca nel fuoco dell'altro specchio un pezzo d'esca o la bolla senziente del termoscopio T, mentre l'altra bolla si trova più vicina al corpo irradiante. Il termoscopio dà segni di elevazione di temperatura tanto che l'irradiazione provenga da calorico luminoso quanto da calorico oscuro. Osservisi che l'effetto sullo strumento non proviene dall'azione diretta della sorgente, perchè la bolla senziente è più distante dell'altra dalla medesima, ma il fenomeno deriva invece dalla riflessione dei raggi, che cadono sul secondo specchio e per riflessione si concentrano nel fuoco dove trovasi la bolla senziente più distante. Se la palla di ferro è ben riscaldata e gli specchi sono disposti alla distanza di qualche metro, l'esca E, posta nel fuoco del secondo specchio, s'accende per la concentrazione dei raggi calorifici, mentre l'accensione non ha luogo avvicinata alla distanza di pochi centimetri dalla sorgente per riceverne l'azione diretta.

1063. Per l'analogia d'esistenza nello spazio che finora abbiamo riscontrato nelle irradiazioni dei due agenti calorico e lumico, e delle leggi che i medesimi seguono nella riflessione, torna facilmente al pensiero di rintracciare se essa si manifesti in altre circostanze. Non potrebbero i corpi di differente natura aver un potere riflettente diverso od essere diversamente riflettori pel calorico come succede per la luce? (§. 755). Il calorico sarebbe mai composto di diversi raggi elementari come la luce? (§. 807). Le diverse sorgenti calorifiche non consisterebbero di differenti raggi elementari, come si verifica delle diverse sorgenti luminose? (§. 812). I corpi avrebbero la proprietà, secondo la loro natura, di riflettere o di trasmettere soltanto qualcheduno di quegli elementi a preferenza degli altri, nello

(1) Si vegga *Annales de chimie et de physique*, t. XLV, la su citata Memoria di Libri, pag. 337.

stesso modo che succede della luce? (§. 896). Dopo le moltiplicate sperienze di Melloni noi siamo in grado di rispondere affermativamente a queste domande. Per procedere con ordine faremo dapprima conoscere le diverse specie di sorgenti calorifiche, di cui si è servito l'illustre fisico italiano nelle moltiplici e variate sue esperienze, e poscia terremo successivamente discorso del *calorico irradiante*, che è *riflesso*, *trasmesso*, *assorbito*, *ed emesso* dai diversi corpi.

L'autore si serviva di quattro diverse sorgenti, le prime due irradianti calorico oscuro e le due altre calorico luminoso (1). In somiglianti indagini non si possono impiegare, come si faceva per lo passato, delle palle o delle verghe di metallo, riscaldate a differenti temperature col fuoco dei carboni o d'altri mezzi più o meno caldi. Imperocchè un tale stato di temperatura riesce necessariamente variabile andando ben presto decrescendo; per cui non adempirebbe le condizioni indispensabili alla soluzione della maggior parte delle questioni relative alle irradiazioni calorifiche.

1064. La prima sorgente costante d'irradiazione calorifica si ottiene dall'acqua mantenuta allo stato d'ebollizione da una piccola lampada, che comunichi sempre la medesima temperatura al recipiente in cui è contenuta. Il recipiente lancerà da ogni punto della sua superficie esterna dei raggi di calorico oscuro, che deriveranno da una *sorgente invariabilmente mantenuta a* 100 *gradi* del termometro. Bisognerà soltanto aver cura d'aumentare per quanto è possibile l'energia dell'irradiazione calorifica, annerendo la superficie esterna del vaso alla fiamma d'una candela, e di non trascurare di collocare degli scrimagli metallici davanti alla lampada allo scopo d'intercettare ogni irradiazione diretta o riflessa della fiamma, lasciando giungere sul corpo termoscopico soltanto i raggi vibrati dalla parete del recipiente dove si contiene l'acqua bollente (fig. 241). Invece dell'acqua si fa uso eziandio d'olio d'ulive o di colza mantenuti a 150, 200 ed anche 250 gradi mediante lampade alimentate con alcoole a fiamme più o meno voluminose.

La seconda sorgente di calorico oscuro consiste in una lamina annerita di metallo tenuta verticale ad orli un poco rilevati, incurvata superiormente e riscaldata alla sua superficie posteriore dalla fiamma d'una lampada ad alcoole (fig. 242). La presenza della fiamma aumenta dapprima rapidamente la temperatura del metallo; ma ben

(1) Per le diverse sorgenti, di cui facciamo cenno, si vegga l'opera su citata di lui: *La termocrosi*, pag. 82 ed anche 93, come pure pag. 85, 91 e 93.

presto la quantità di calore perduta per irradiazione e per contatto dell'aria giunge a compensare quello comunicatole dalla fiamma, e la lamina si mantiene ad una temperatura invariabile; giacchè manifesta un'indicazione costante al termoscopio elettrico mantenuto ad una data distanza. La temperatura di questa seconda sorgente oscura è molto più elevata della precedente: *essa giunge a* 360 *ed anche a* 400 *gradi centesimali*, quando la lamina colla grossezza di un terzo di millimetro e la superficie da 20 in 22 centimetri quadrati, si trovi avere il terzo circa della faccia posteriore occupata dalla fiamma. Melloni ne ha determinato la temperatura riferita servendosi del metodo delle mescolanze (§. 1035).

Una *spirale di platino* convenientemente applicata ad una lampada alimentata con alcoole, presenta la terza sorgente, che è di calorico luminoso con un metallo arrossato al fuoco e in generale con un corpo incandescente. Per conseguire questa specie particolare di sorgente calorifica bisogna servirsi di piccole fiamme che sono sempre più stabili delle grandi. La lampada adoperata da Melloni aveva il lucignolo disposto in maniera che la fiamma risultava dell'altezza di 15 millimetri e della larghezza di 8 verso la sua base. Il filo di platino era del diametro di mezzo millimetro e la spirale di volume eguale a quello della fiamma. La spirale è sospesa ad un piccolo gambo metallico ricurvo, la cui parte rettilinea entra in un tubo verticale piantato accanto della lampada: abbassando più o meno il sostegno, si giunge a mettere gli ultimi giri del filo di platino alla giusta altezza ove incomincia la combustione viva dell'alcoole, mentre il resto s'immerge negli strati superficiali della fiamma, che sono i soli donde si sviluppa la luce (fig. 243). Imperciocchè il filo metallico sottrae dalla fiamma abbastanza calorico per torglierle la facoltà illuminante, e ne acquista di tanto per diventare esso medesimo incandescente. Allora continua la combustione lenta dell'alcoole, la viva fiamma scomparisce e non si vede più che la spirale rossa con qualche splendore azzurrognolo vicino al lucignolo. Quantunque l'incandescenza del metallo non abbia per tutto lo stesso grado, dà però una sorgente sensibilmente costante durante tutto il tempo delle sperienze, e d'una qualità particolare molto propria pei nostri studi.

Per quarta sorgente calorifica, che è pure luminosa, Melloni ha scelto la *lucerna alla Locatelli*. Essa è priva di caminetto di vetro, altrimenti sarebbero intercettati certi elementi calorifici, e somministra una fiamma sensibilmente costante in virtù del suo piccolo lucignolo compatto, grosso ed imbevuto di sali, i quali arrestano le

mucosità ed altri corpi eterogenei e non formano veruna di quelle escrescenze carbonose delle altre lucerne a corrente semplice. Talvolta si è servito altresì delle lucerne mecaniche a doppia corrente d'aria ed a caminetto di vetro, le quali per la costanza del livello dell'olio, l'elevazione di temperatura e la qualità particolare dei raggi sviluppati sono eminentemente proprie per certe esperienze. Per istabilire dei confronti fra le proprietà calorifiche delle fiamme di differenti combustibili, si può altresì impiegare, oltre l'alcoole e gli olii grassi, dei getti infiammati d'idrogeno puro e il miscuglio di questo gas coll'ossigeno proiettato sopra un pezzo di calce (§. 880). Noteremo qui di passaggio che le fiamme in presenza dei corpi solidi, non solo acquistano nella facoltà illuminante ma anche in quella riscaldante, come ce ne fa accorti il termoscopio elettrico.

1065. A nuove cose e nuove idee sono necessari nomi nuovi per esprimerle, ed è per ciò che dobbiamo incominciare a far conoscere questi nomi avanti d'entrare nella via delle esperienze col Melloni (1). I corpi, che si lasciano attraversare o trasmettono il calorico irradiante, si chiamano *diatermici*, i quali si diportano in riguardo a questo agente come i corpi *diafani*; mentre quelli *adiatermici* negano un tal passaggio e corrispondono ai corpi *opachi* riguardo alla luce (§. 737). Si ha quindi la *diatermasia* cioè la trascalescenza o *trasparenza* calorifica dei corpi, e l'*adiatermasia* o l'*opacità* calorifica. I corpi diatermici, quantunque si lascino attraversare dal calorico, possono in parte rifletterne, come succede dei corpi diafani per la luce (§. 755); e i corpi *adiatermici* mentre non trasmettono il calorico possono rifletterne soltanto una parte e l'altra assorbirla, come pure si verifica in parecchi corpi opachi per la luce (§. 755). I corpi che sono opachi o diafani per la luce, non si devono sempre ritenere che lo siano egualmente pel calorico, cioè che siano adiatermici e diatermici, come apprenderemo.

Parlando della diatermasia, vedremo che il calorico è composto di elementi diversi, al pari della luce che è costituita di elementi colorati (§. 807); da ciò si ha quindi la *termocrosi* cioè la *colorazione* del termico o calore. Si danno dei corpi che riflettono soltanto alcuni elementi luminosi (§. 896), come pure altri che ne trasmettono al-

(1) Per riguardo alla nuova nomenclatura pel calorico irradiante si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VI, pag. 230. Melloni aveva sul principio delle sue indagini introdotto i nomi di *diatermani* ed *atermani* che, secondo il consiglio di persone dotte nella lingua greca, cambiò poscia in *diatermici* ed *adiatermici*.

cuni intercettando gli altri (§. 898): gli eguali fenomeni si riproducono in riguardo al calorico. Nel primo caso si hanno i corpi *adiatermici termocroici*, nel secondo i corpi *diatermici termocroici*: quelli riflettono soltanto alcuni elementi d'un flusso calorifico, questi invece ne trasmettono alcuni intercettando gli altri, ed ambidue sono *termocroici*, nello stesso modo che si chiamano *colorati* in riguardo alla luce i corpi tanto che lo siano per riflessione quanto per trasmissione. I corpi, che riflettono o trasmettono riuniti gli elementi calorifici in tutto o in parte, sono quindi *atermocroici* e corrispondono ai corpi *incolori* della luce. Si è veduto nell'ottica che i corpi *bianchi* non alterano i rapporti degli elementi luminosi, che cadono su di essi; e nel calore quei corpi, che non disturbano le proporzioni dei raggi corrispondenti, si appellano *leucotermici*, cioè *bianchi* per rispetto al calore, vale a dire che riverberano egualmente ogni specie d'irradiazione calorifica e mantengono per conseguenza nel flusso riflesso o diffuso la medesima colorazione e bianchezza del flusso incidente. Il corpo *nero* per la luce corrisponde per l'altro agente a quello che assorbe quasi tutto il calorico incidente, e che chiamasi in questo caso *melanotermico* da *melanos* nero.

La nuova nomenclatura pel calorico irradiante, analoga a quella dell'irradiazione luminosa, si riepiloga in poche parole come segue, essendosi posti per dilucidazione accanto ai nuovi nomi quelli corrispondenti della luce: *corpi diatermici* (diafani), *adiatermici* (opachi), *diatermasia* (trasparenza), *adiatermasia* (opacità), *termocrosi* (colorazione), *corpi adiatermici termocroici* (colorati per riflessione), *diatermici termocroici* (colorati per trasmissione) e in generale *corpi termocroici* (colorati) ed *atermocroici* (incolori), *leucotermici* (bianchi), *melanotermici* (neri). Abbiamo veduto che nella riflessione il calorico irradiante segue le medesime leggi della luce (§. 1062); e in quanto all'influenza che vi esercita la natura e lo stato delle superficie dei corpi, questi mostrano un potere riflettente che si diporta come il poter assorbente, di cui studieremo le diverse circostanze dopo aver trattato del calorico trasmesso.

1066. Avanti Melloni alcuni ponevano in dubbio che il calorico irradiante passi a traverso i corpi solidi come si trasmette per l'aria (§. 1058); o almeno non si sapeva dar ragione del modo differente con cui le irradiazioni di due diverse sorgenti si comportassero nell'attraversare il medesimo corpo diafano. Mariotte, avendo esposto al sole uno specchio concavo di metallo, osservò che il calore concentrato dal medesimo non diminuiva sensibilmente della sua intensità

nell'attraversare una lastra di vetro. Egli, ripetendo poscia lo stesso sperimento col calorico lanciato dalle legna in combustione d'un camino, ritrovò che alla distanza di meno di due metri l'imagine luminosa riflessa nel fuoco dello specchio era dotata di un calore insoffribile alla mano, allorquando l'irradiazione si faceva soltanto a traverso all'aria; ma obbligandola a passare per una lastra di vetro, come nella precedente sperienza, non si provava più verun effetto sensibile di calore quantunque l'imagine luminosa conservasse ancora il suo splendore. Mariotte ne trasse la conseguenza che *il calorico del fuoco terrestre non attraversa il vetro, oppure vi passa in minima quantità* (1). Scheele studiò il calorico irradiante servendosi della combustione attivata nel fornello d'una stufa. Egli trovò che era concentrato dagli specchi concavi, che si propagava in linea retta a traverso l'aria senza riscaldarla e senza esserne alterata la direzione dall'agitazione, e che, esperimentando d'inverno, l'osservatore vede i vapori del suo alito in quell'aria il che è indizio della sua bassa temperatura, mentre a maggior distanza nel fuoco dello specchio il calore è tale da abbruciare e d'accendere delle materie combustibili; trovò infine che l'interposizione d'una lastra di vetro arrestava l'irradiazione calorifica. Da questo conchiuse che *il calorico irradiante in generale non era atto ad attraversare il vetro,* diportandosi quello solare diversamente in causa della grande luce con cui è unito (2).

Pictet dimostrò l'inesattezza dell'asserzione di Scheele sperimentando cogli specchi coniugati (§. 1062), dove si serviva delle irradiazioni, lanciate non solo dalla fiamma d'una candela, ma eziandio emesse da un matraccio pieno d'acqua bollente, posto nel fuoco dello specchio: interponendovi una lastra di vetro si hanno nei due casi segni distinti di concentrazione di calore nel termometro posto nel fuoco dell'altro specchio (3). Herschel intraprese pure alcuni anni dopo una lunga serie d'esperienze sul calorico irradiante, fissando il termometro di dietro al corpo diafano, che opponeva direttamente alle irradiazioni calorifiche senza servirsi d'alcun mezzo per concentrarle. Egli dalle sue osservazioni fu portato a conchiudere che fra i due agenti, riscaldante ed illuminante, vi ha differenza nell'attraver-

(1) Si vegga l'opera di lui: *Traité de la nature des couleurs*, Parigi 1686, e la seconda edizione della medesima del 1717, pag. 288.

(2) Si vegga l'opera dell'autore: *Traité de l'air et du feu,* tradotta da Dietrich. Parigi 1781, pag. 48. L'opera in originale svedese è stata pubblicata nel 1777.

(3) *Essai sur le feu* di Pictet, Ginevra 1790, al §. 52 e seguenti.

sare i corpi diafani, ed infine ammise che essi sono essenzialmente distinti l'uno dall'altro (1).

1067. In mezzo a queste divergenze di risultati e d'opinioni, vi fu anche chi negava assolutamente che il calorico irradiante potesse attraversare i corpi diafani solidi e liquidi nello stesso modo che passa per quelli aeriformi, attribuendosi gli effetti ottenuti ad un riscaldamento del corpo interposto coll'assorbire il calorico ricevuto, che emetteva poscia di nuovo allo stato irradiante. Non valsero a distruggere tale opinione le sperienze del ginevrino Prevost, il quale giunse ad avere indicazioni sul termoscopio dal calorico irradiante coll'interposizione d'una sottile lamina d'acqua, che otteneva con un getto di fontana (2), credendosi che una certa quantità di calorico potesse pervenire sul termometro per gl'intervalli lasciati dagli strati assai sottili del velo liquido. La stessa obbiezione fu opposta ad altre sperienze, nelle quali s'impiegavano dei sottilissimi strati liquidi formati con acqua glutinosa sulle maglie d'una rete metallica. L'attenzione dei fisici fu di nuovo risvegliata da un'esperienza di Maycook, dalla quale risultava che una lamina di vetro, presentata all'irradiazione di un corpo caldo, lasciava passare maggior quantità di calorico trovandosi al suo stato naturale di limpidezza che dopo essere coperta da un lieve strato d'inchiostro della Cina o di nero fumo (3). In questo secondo caso sarebbe stato più grande l'assorbimento e quindi maggiore l'irradiazione della lamina; quando avveniva tutto al contrario.

Vennero poscia le sperienze di Delaroche (4), il quale sperimentò il calorico irradiato da sorgenti a diverse temperature, di cui valutava le perdite nel passaggio a traverso a lamine di vetro. Egli ne ritrasse la conseguenza che *la quantità di calorico trasmesso riesce tanto più grande quanto più è elevata la temperatura della sorgente.*

(1) Si veggano le *Transazioni filosofiche* della Società Reale di Londra dell'anno 1800.

(2) *Mémoire sur la transmission du calorique à travers l'eau* ecc., nel *Journal de physique, de chimie* ecc. di Delamétherie dell'anno 1811. L'autore ha radunato in uno scritto pubblicato dappoi tutti i fatti allora conosciuti risguardanti la propagazione del calorico. *Mémoire sur la radiation du calorique* par Prevost; nelle *Mém. de la Société de physique* de Genève, 1814, t. II, parte 2ª, pag. 161.

(3) *Remarks on prof. Leslie doctrine of radiant heat.* Nel *Journal of natural philosophy, chem.* ecc., fascicolo di maggio e giugno 1810.

(4) *Observations sur le calorique rayonnant*, nel *Journal de physique, de chimie* ecc. di Delamétherie dell'anno 1812.

I risultati delle medesime, ridotti ai minimi termini, darebbero che una lastra di vetro, la quale trasmette soltanto $^1/_{18}$ del calorico irradiato da un corpo riscaldato a 182°, ne trasmette $^1/_{12}$ quando la temperatura è elevata a 346°, ed $^1/_3$ quando il riscaldamento è portato a 960°. Da cui egli dedusse, non a rigore, che, quando la sorgente diventa luminosa, la quantità di calorico trasmesso pel vetro è più facile e più abbondante. Ha trovato altresì che *il calorico, trasmesso da una lamina di vetro, prova nel passaggio per una seconda delle perdite proporzionalmente molto minori*, e che un vetro grosso, quantunque attraversato più facilmente dalla luce d'un vetro sottile di qualità inferiore, lascia passare però molto meno calorico irradiante, e la differenza riesce tanto più piccola quanto più la temperatura è elevata. Le sperienze furono ripetute e variate da Richtie, il quale venne a conchiudere *altro non essere la luce che calorico irradiante, che si muove con grande velocità* (1).

Queste deduzioni, generalizzate per tutti i corpi diafani, si sono trovate erronee, e tutte quelle divergenze sono scomparse dopo le sperienze e le indagini di Melloni, dalle quali viene dimostrato che *i corpi solidi e liquidi possono essere diatermici in diverso grado secondo la loro natura, la loro grossezza e la qualità del calorico che si presenta per attraversarli.*

1068. La facoltà del calorico irradiante di transitare pel vuoto e per l'aria (§. 1058), si verifica essa eziandio pei solidi e pei liquidi? Importa che il dubbio sia rimosso con un esperienza diretta ed è ciò che ha fatto Meloni (2). Si abbia una piastra verticale di metallo nella cui parte centrale è munita d'un'apertura eguale alla sezione trasversale della pila del termoscopio. Ad una certa distanza dalla piastra e sulla linea orizzontale che passa pel centro dell'apertura, si pone da un lato la sorgente calorifica e dall'altro la pila del termactinometro in maniera che si trovino sulla stessa retta che passa pel centro dell'apertura medesima, vicino alla quale dalla parte della pila si dispone una lamina di vetro o di altro corpo solido diatermico. Il flusso calorifico, che passa per l'apertura e cade sulla lamina, s'intercetti con uno scrimaglio impermeabile. Intanto la lamina si riscalderà per l'assorbimento dei raggi incidenti, poscia irradierà per ogni verso il calorico acquistato. Levando lo scrimaglio, una porzione di questa *irradiazione secondaria* giungerà sul corpo termoscopico e si riunirà

(1) *Edimburgh philosophical Journal* del 1824, pag. 281

(2) Si vegga l'opera su citata *La termocrosi* ecc. pag. 147.

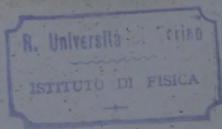
ai raggi che pervengono su di esso direttamente dalla sorgente. Ora si faccia descrivere al corpo termoscopico un arco, che abbia per raggio la retta condotta dal centro della lamina a quello della pila, in modo che questa non corrisponda più sulla direzione rettilinea del flusso calorifico che attraversa l'apertura. In questa posizione cadrà sul corpo termoscopico soltanto l'irradiazione secondaria del calorico, di cui è stata investita la lamina di vetro. Si osserva che l'ago dello strumento segna una notabile diminuzione di calore. Ma potrebbe essere obbiettato che questa diminuzione sia prodotta dall'obliquità della lamina, che dà l'irradiazione secondaria. Per togliere questo dubbio s'inclini la lamina in maniera che la perpendicolare innalzata dal suo punto centrale cada sulla pila, e si vedrà che la diminuzione di gradi nel termoscopio ha ancor luogo e che quindi il calore sul medesimo era prodotto dall'irradiazione diretta che attraversava la lamina diatermica. Spesso quell'irradiazione secondaria è così minima che l'ago galvanometrico ritorna sullo zero. Prendendo inoltre la lamina di vetro d'una certa grandezza e movendola rapidamente per lunghi tratti lungo l'apertura, si trova che il termoscopio, posto in direzione rettilinea colla sorgente, continua a segnare lo stesso grado di calore. *La quiete o il movimento delle particelle della lamina trascalescente non esercitano veruna influenza sul calorico propagato dall'irradiazione della sorgente.* Da tutto questo resta dimostrato *che l'azione osservata non deriva dal riscaldamento del corpo diatermico, ma dal flusso calorifico che l'attraversa in linea retta, e continua a propagarsi nella stessa direzione sino sulla pila.*

1069. Per istituire le sperienze nei diversi casi intorno al calorico irradiante è d'uopo sovente collocare la sorgente a diverse distanze, cangiare la posizione delle lamine diatermiche e degli scrimagli, trasportare il termoscopio elettrico fuori dell'asse delle irradiazioni e riporlo poscia nella situazione primitiva, mettere alla prova successivamente diversi corpi diatermici, variare la sorgente calorifica, e fare altre operazioni nelle diverse prove per le quali essere condotti ad esatti risultamenti. Tutto ciò si eseguisce con grande facilità e precisione mediante l'apparecchio di Melloni (1) rappresentato nella fig. 244.

L'apparecchio si compone d'una verga piatta AB di rame o d'ottone della lunghezza di circa un metro e ben diritta, che riposa sulla tavoletta TT da cui è separata per l'intervallo di 4 in 5 centimetri

(1) Vedi *La termocrosi* ecc., pag. 159 e seguenti.

mediante i due piedi $s$, $s'$. La tavoletta è munita ai quattro canti delle gambe a vite V, che servono ad assodarla sopra un piano orizzontale. Una seconda verga CD, della stessa grossezza e lunga soltanto un terzo della prima, è congiunta con una delle sue estremità ad un punto qualunque di questa e mobile attorno ad un asse verticale, che passa pel punto di congiunzione delle due verghe, in maniera ch'essa può essere disposta per diritto colla verga AB o sotto un qualunque angolo DCD'. L'asse C si appoggia sopra un basamento fornito d'una scanalatura rettangolare, per la quale si adatta esattamente sulla gran verga e vi si assicura mediante una vite di pressione. Rallentando la vite, l'asse si fa scorrere facilmente sulla verga AB per assicurarlo in qualunque posizione conveniente alle sperienze.

Nella stessa maniera si assicurano sulla verga AB i sostegni, che portano la sorgente calorifica, i corpi che si mettono al cimento, la pila termoscopica e i diversi scrimagli di metallo, i quali servono ad intercettare in tutto o in parte il fascio di raggi calorifici, oppure a difendere la sorgente e la pila dalle correnti d'aria e dalle irradiazioni degli oggetti circostanti. I sostegni si compongno di due parti: la prima, eguale in tutti, consiste in una colonnetta cava, intagliata a vite nella parte superiore e con quattro fenditure situate alle estremità di due diametri normali. Una viera leggermente conica, intagliata nell'interno egualmente a vite, serve a serrare più o meno le fenditure e con esse l'apertura della cavità della colonnetta. Il basamento di ciascuna colonnetta si adatta pure alla gran verga per la scanalatura rettangolare, colla quale si fa trascorrere il sostegno sulla verga medesima e si assicura colla vite di pressione nella posizione che si desidera. La seconda parte del sostegno si compone di un gambo, che entra esattamente nella cavità della colonnetta e si fissa all'altezza conveniente colla pressione della viera conica. Il gambo ha superiormente un'appendice, la quale varia di forma secondo l'uso, cui il sostegno è destinato. Se deve portare la sorgente calorifica, il gambo tiene congiunto a vite un piano orizzontale circolare M ad orlo rilevato con tutto l'occorrente per collocarvi stabilmente una delle quattro sorgenti descritte (§. 1064). Che se il sostegno è destinato allo scrimaglio metallico traforato nel centro dietro cui si pongono i corpi destinati alle sperienze, il gambo è saldato al lato inferiore dello scrimaglio stesso, il quale è formato d'una piastra d'ottone N pulita dalla parte della sorgente ed annerita a colla nella faccia opposta. A questa è applicato un disco eccentrico mobile intorno al suo perno e munito verso la circonferenza d'una serie di

fori di differenti diametri, i quali con la semplice rotazione del disco si fanno corrispondere successivamente all'apertura centrale dello scrimaglio per dar passaggio a fasci più o meno voluminosi d'irradiazioni calorifiche. Un semplice piano orizzontale O, congiunto a vite all'estremità del gambo, è bastante per sostenere le lamine diatermiche, che si assicurano verticalmente per uno dei loro lati nella fenditura d'un prisma di sovero zavorrato di piombo. Per lo scrimaglio diretto ad intercettare le irradiazioni calorifiche, il gambo P ha una mastiettatura girevole perpendicolarmente alla verga AB, allo scopo di lasciare alle medesime libero il passaggio allorquando si abbassa lo scrimaglio, e d'intercettarle compiutamente allorquando questo si rialza. Lo scrimaglio è terso e lucido dal lato della sorgente e dipinto in nero da quello opposto. Sarà meglio ch'esso sia composto di due piastre parallele, l'una tersa e lucida per impedire di essere riscaldata quando intercetta le irradiazioni della sorgente, l'altra annerita per impedire che i raggi calorifici dell'osservatore o di qualunque altro corpo caldo siano riflessi sulla pila. Gli scrimagli, impiegati a deviare le correnti d'aria od a difendere la pila dall'azione calorifica dei corpi circostanti, sono stabiliti, in posizioni fuori dell'asse del sostegno, all'estremità d'un piccolo cilindro orizzontale ad esso saldato Q, per lasciare così interamente libero il passaggio all'irradiazione della sorgente lungo la verga AB o all'altra CD, secondo che si vogliono studiare i raggi diretti, riflessi o rifratti. Finalmente, allorchè si tratta della pila termoscopica R, vi ha all'estremità del gambo una mastiettatura simile a quella dello scrimaglio mobile P, disposta in maniera che, essendo l'istromento congiunto con vite al gambo, la mastiettatura si trova nel medesimo piano dell'asse della pila. Si ha cura di rivolgere la mastiettatura e la pila nella direzione della verga, su cui è applicato il sostegno, affinchè, nell'innalzare od abbassare il gambo e la rotazione della mastiettatura, possa l'asse dell'istrumento coincidere esattamente con l'asse dell'irradiazione calorifica.

Ad una certa distanza dalla pila si colloca il galvanometro G, che si mette con essa in comunicazione mediante i due fili metallici, e che serve ad indicare i gradi di riscaldamento della pila medesima, che fa qui le funzioni di corpo termoscopico (§. 1058).

1070. Col descritto apparato si istituiscono facilmente le indagini per misurare le quantità di calorico trasmesso per lamine di qualità e grossezze qualunque ed irradiante dalla sorgente che si desidera mettere alla prova. Dopo aver collocata la sorgente sul sostegno M

(fig. 244) si colloca ad una certa distanza lo scrimaglio N alla cui apertura si fa corrispondere, ruotando il disco, un foro di 8 in 10 millimetri di diametro. Di dietro allo scrimaglio e sulla dirittura dei centri della sorgente e dell'apertura, si dispone la faccia della pila: si allontana o si avvicina essa allo scrimaglio, oppure questo alla sorgente, sinchè l'indice del galvanometro si mantenga alla deviazione stabile di 30 in 35 gradi. Allora s'interpone, fra la sorgente M e lo scrimaglio traforato N, l'altro scrimaglio P allo scopo d'intercettare l'irradiazione calorifica ed esaminare se tutte le parti dell'apparecchio si trovino alla medesima temperatura, il che si riconosce dall'osservare se l'indice del galvanometro riprende la posizione naturale dello zero. Ottenuto questo effetto, si ristabilisce la comunicazione calorifica e si nota la deviazione dell'indice dovuta al calorico irradiante liberamente sulla pila; poscia, contro l'apertura dello scrimaglio N e dal lato della pila sul sovero portato dal sostegno O, si colloca il corpo di cui si desidera conoscere il potere trasmittente. Essendo per tal modo obbligata l'irradiazione calorifica di attraversare il corpo diatermico avanti di cadere sulla pila, l'indice del galvanometro si avvicinerà più o meno allo zero e si fermerà ad un certo grado del quadrante.

Per assicurarsi che l'arco di deviazione, a cui si mantiene l'indice, è dovuto alla sola trasmissione immediata, si ripete la prova precedentemente descritta (§. 1068) del trasporto laterale della pila per vedere se l'indice del galvanometro ritorna a zero. Si rimette infine la pila sull'asse dell'irradiazione e si prende una seconda misura della trasmissione. Se tutto è convenientemente disposto, si troverà che questa coincide colla prima misura ad un grado mirabile di precisione. Allorchè mancano alcune delle circostanze necessarie per raggiungere una tale precisione; allorchè il rapporto di temperatura fra l'aria ed i corpi solidi cangia troppo rapidamente, o che il mezzo ambiente è troppo agitato, si correggerà l'influenza delle variazioni, che ne risultano sui valori successivi della medesima misura, prendendo la media d'un certo numero di osservazioni.

Si è già notato che il termomoltiplicatore per la sua costruzione permette d'avvicinarsi allo strumento e di leggerne con tutta comodità le indicazioni, senza timore che il calorico proprio del corpo venga ad alterarne i risultati (§. 1058). Tuttavolta per maggiore precauzione conviene assicurarsi dapprima se, durante le diverse operazioni necessarie a stabilire e ad intercettare le comunicazioni, la pila non riceva, direttamente o per riflessione, alcune irradiazioni ca-

lorifiche dalla mano o dal volto dell'osservatore, a malgrado del tubo da cui è difesa. A tale scopo bisogna sopprimere la sorgente di calorico, o metterla al coperto di dietro allo scrimaglio metallico, ed osservare, mediante operazioni preliminari del tutto simili a quelle che si devono eseguire durante le sperienze, se si sviluppa qualche azione sul galvanometro: nel caso che si riscontri qualche causa perturbatrice sarà facile di eliminarla con una disposizione conveniente di alcuni nuovi scrimagli.

Le sorgenti calorifiche di temperatura differente (§. 1064), situate alla medesima distanza, danno delle irradiazioni più o meno intense. Variando però la distanza, si comprende che sarà possibile di ottenere da ciascuna delle medesime l'egual effetto sul corpo termoscopico. Per dimostrare nella scuola le principali proprietà del calorico irradiante potrà servire invece della pila un termoscopio ad aria con bolla o bulbo annerito.

1071. Mettendo al cimento diversi corpi disposti sotto la forma di lamine della stessa grossezza, si trova coll'apparato e nel modo descritto, che *essi non sono egualmente diatermici per la medesima sorgente calorifica.* Prendendo come sorgente la seconda di quelle di cui si è servito Melloni, che è di calorico oscuro (§. 1064), si trova che il *salgemma* (limpido) trasmette 92,3 del calorico incidente espresso con 100, il *vetro* (limpido) ne lascia passare soltanto 6, il *solfo* di Sicilia (giallo) 60, lo *spato fluoro* (limpido) 42, il *cromato acido di potassa* (aranciato) 15. L'*alume* poi, quantunque limpido, non lascia passare verun raggio di questa sorgente. Ciascuna lamina era ridotta alla grossezza di millimetri 2,6. Questi come pure tutti i risultati ottenuti da Melloni, che riportiamo più avanti, provano la grande differenza che i corpi solidi presentano per la trasmissione del calorico emanato dalla medesima sorgente.

I liquidi offrono del pari risultamenti analoghi come si scorge dal prospetto seguente, nel quale gli strati di questi fluidi avevano la grossezza di millimetri 9,21 ed erano ritenuti fra due sottilissime lastre di vetro, provenendo il calorico dalla fiamma d'una lucerna munita del suo tubo o caminetto di vetro. La trasmissione è notata pure in centesime parti della quantità del calorico incidente.

| NOMI DEI LIQUIDI | Trasmissione | NOMI DEI LIQUIDI | Trasmissione |
|---|---|---|---|
| Carburo di solfo (incoloro) | 63 | Etere solforico puro (incol.) | 21 |
| Bicloruro di solfo (rosso granato carico) . . . | 63 | Acido solforico puro (incoloro). . . . . . | 17 |
| Protocloruro di fosforo (incoloro) . . . . . . | 62 | Acido solforico di Nordhausen (bruno) . . . | 17 |
| Idrocarburo di cloro (incoloro) . . . . . . | 37 | Idrato d'ammoniaca (incoloro) . . . . . . | 15 |
| Olio di noce (giallo) . . | 31 | Acido nitrico concentrato (incoloro) . . . . . | 15 |
| Essenza di trementina (incolora) . . . . . . | 31 | Alcoole assoluto (incoloro) | 15 |
| Essenza di rosmarino (incolora) . . . . . . | 30 | Idrato di potassa (incoloro) | 13 |
| Olio di colza (giallo) . . | 30 | Acido acetico rettificato (incoloro) . . . . . . | 12 |
| Olio d'olive (giallo verdognolo) . . . . . . | 30 | Acido pirolegnoso (bruno) | 12 |
| Nafta natur. (giallo-bruna) | 28 | Soluzione concentrata di zucchero (incolora) . . | 12 |
| Balsamo di copaiba (bruno giallognolo) . . . . . | 26 | Soluzione di sal gemma (incolora) . . . . . . | 12 |
| Essenza di lavanda (incolora) . . . . . . . | 26 | Soluzione d'allume (incolora) . . . . . . . | 12 |
| Olio di garofano (bianco giallognolo) . . . . | 26 | Albume d'uovo (bianco giallognolo) . . . . | 11 |
| Nafta rettificata (incolora) | 26 | Acqua distillata . . . . | 11 |

Dai risultati riferiti si apprende già che la diatermasia varia nei diversi corpi per la stessa sorgente calorifica; e per riconoscere se un corpo è più o meno diatermico, non abbiamo altro che a ricorrere alla prova, non essendo la trasparenza una norma per giudicare della trascalescenza, anzi vedremo più avanti che si danno corpi opachi sufficientemente diatermici.

1072. La diatermasia non solo è differente nei diversi corpi, ma *varia nel medesimo corpo al variare la qualità del calorico irradiante o la sorgente da cui proviene.* Melloni ha istituito un gran numero di sperienze, ed ecco il quadro dei risultati ottenuti da lui, colle quattro sorgenti annoverate (§. 1064) su 36 materie solide ridotte tutte in lamine della grossezza di millimetri 2,6. Le quantità di calorico trasmesso sono al solito in centesime parti di quello incidente.

| NOMI DEI SOLIDI DIATERMICI | TRASMISSIONI calorifiche con | | | |
|---|---|---|---|---|
| | La lucerna Locatelli | Il platino incandesc. | Il rame a 400° | Il rame a 100° |
| Salgemma (limpido) | 92,3 | 92,3 | 92,3 | 92,3 |
| Solfo di Sicilia (giallo) | 74 | 77 | 60 | 54 |
| Spato fluoro (limpido) | 72 | 69 | 42 | 33 |
| Salgemma (fosco) | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Berillo (giallo verdognolo) | 54 | 23 | 13 | 0 |
| Spato fluoro (verdognolo) | 46 | 38 | 24 | 20 |
| Spato d'Islanda (limpido) | 39 | 28 | 6 | 0 |
| Altra specie (limpido) | 38 | 28 | 5 | 0 |
| Vetro (limpido) | 39 | 24 | 6 | 0 |
| Altra specie (limpido) | 38 | 26 | 5 | 0 |
| Cristallo di rocca (limpido) | 38 | 28 | 6 | 3 |
| Cristallo di rocca (affumicato) | 37 | 28 | 6 | 3 |
| Cromato acido di potassa (aranciato) | 34 | 28 | 15 | 0 |
| Topazio bianco (limpido) | 33 | 24 | 4 | 0 |
| Carbonato di piombo (limpido) | 32 | 23 | 4 | 0 |
| Solfato di barite (fosco) | 24 | 18 | 3 | 0 |
| Feldspato adulare (fosco) | 23 | 19 | 6 | 0 |
| Ametista (violaceo) | 21 | 9 | 2 | 0 |
| Ambra artificiale (gialla) | 21 | 5 | 0 | 0 |
| Berillo marino (verde azzurrognolo) | 19 | 13 | 2 | 0 |
| Agata (giallo-fosca) | 19 | 12 | 2 | 0 |
| Borato di soda (fosco) | 18 | 12 | 8 | 0 |
| Tormalina (verde-carico) | 18 | 16 | 3 | 0 |
| Gomma comune (giallognola) | 18 | 3 | 0 | 0 |
| Spato pesante (fosco venato) | 17 | 11 | 3 | 0 |
| Selenite (limpida) | 14 | 5 | 0 | 0 |
| Acido citrico (limpido) | 11 | 2 | 0 | 0 |
| Carbonato d'ammoniaca (fosco striato) | 12 | 3 | 0 | 0 |
| Tartrato di potassa e di soda (limpido) | 11 | 3 | 0 | 0 |
| Ambra naturale (gialla) | 11 | 5 | 0 | 0 |
| Alume (limpido) | 9 | 2 | 0 | 0 |
| Colla forte (bruno-giallognola) | 9 | 2 | 0 | 0 |
| Zucchero candito (limpido) | 8 | 1 | 0 | 0 |
| Spato fluoro (verde carico venato) | 8 | 6 | 4 | 3 |
| Zucchero fuso (giallognolo) | 7 | 1 | 0 | 0 |
| Ghiaccio (limpido) | 6 | 0,5 | 0 | 0 |

Osservando questo quadro, ciò che prima ci si offre è il gran potere trasmittente del salgemma, il quale si manifesta eguale per qualunque delle quattro specie d'irradiazioni calorifiche. I raggi oscuri emanati dalla terza e quarta sorgente attraversano il salgemma egualmente dei raggi luminosi lanciati dalle prime due. In secondo luogo si ha la prova di quanto la trasmissione calorifica differisca nello stesso corpo per le diverse sorgenti.

1073. I fatti dei due precedenti paragrafi ci mettono in grado di riavvicinare sotto un nuovo punto di vista le irradiazioni luminose colle calorifiche. Sappiamo che si danno dei corpi i quali non trasmettono egualmente la stessa specie di raggi luminosi, come sono le materie diafane di diverso colore che permettono tanto più facilmente il passaggio alle irradiazioni quanto più il fascio luminoso contiene degli elementi omologhi alla loro natura colorata. Ora pare che eziandio nel calorico si diano dei corpi più o meno diatermici per una data specie di calorico irradiante, ossia che abbiano, come nella luce, una trasparenza particolare per certi raggi elementari. Da qui la conseguenza di corpi *diatermici termocroici*, e quindi la *termocrosi* o il calorico colorato (§. 1065). Questa interpretazione trova appoggio nel vedere che i raggi di calorico oscuro attraversano un corpo solido coll'eguale facilità di quelli provenienti dalle fiamme e dai corpi incandescenti. Siamo quindi indotti a conchiudere che le diverse specie di flussi calorifici non differiscono fra loro per la luce da cui sono accompagnati, ma che le differenze di trasmissione costituiscono dei *caratteri specifici* analoghi a quelli che esistono fra i raggi luminosi colorati. I corpi portati a temperature più o meno elevate diventano per tal modo sorgenti di *calore colorato* o di *termocrosi*: si apprende così come il vetro ed altre materie, trasmettendo in diverse proporzioni questi *colori di calorico* o *raggi termocroici*, costituiscono dei *mezzi colorati in riguardo al calorico stesso*, o *mezzi termocroici*, e come il salgemma sia un mezzo *incoloro* pel calore od *atermocroico*, a traverso il quale tutti i *calori colorati* o *raggi termocroici* passano colla medesima intensità. Queste deduzioni risultano dai fatti; e i confronti colla luce servono a ricongiungere, alle idee tanto famigliari di trasparenza e di colore, una serie di fenomeni che si nascondono, per così dire, ai nostri sensi e si riferiscono ad un agente del quale non possiamo direttamente che valutare la sola intensità.

1074. I nuovi nomi pei fenomeni del calorico irradiante sono voluti dalla necessità, *non andando d'accordo la trasparenza per la luce con quella pel calorico, ossia la trasparenza dei corpi differisce dalla*

*loro diatermasia o trascalescenza.* Vediamo infatti la lamina gialla n° 2 del quadro (§. 1072) trasmettere poco più calorico di quella incolora n° 3 per la prima sorgente e molto più per le altre; parimenti la n° 6 verdognola ha una trasmissione inferiore a quella del n° 5 giallo-verdognola per la prima sorgente, ma diventa a questa superiore per le seguenti, e la differenza aumenta in modo, rispetto alla quarta fonte calorifica, che un quinto del calorico incidente passa ancora per la lamina n° 6, mentre quella del n° 5 diventa adiatermica od *opaca* per questa specie di calorico. Le lamine dei numeri 22 e 23 sono dotate dell'egual potere trasmittente pel primo flusso calorifico e presentano effetti contrari pei due flussi seguenti, giacchè nel secondo flusso la trasmissione pel n° 23 diventa superiore a quella del n° 22, e nel terzo la trasmissione del n° 22 supera quella del n° 23. Altre somiglianti inversioni s'incontrano nello stesso quadro, senza parlare delle proporzioni relative che cambiano quasi sempre passando dall'una all'altra sorgente.

La *diatermasia dipende dalla qualità del calorico incidente* e non si attiene alla trasparenza, per la quale si ha il maggior passaggio di luce. Considerando infatti l'irradiazione più luminosa, che è quella della lucerna Locatelli, si vede l'acido citrico, il tartrato di potassa e di soda, l'alume, il ghiaccio, materie interamente diafane e senza alcune vestigia di colore, trasmettere da tre a sei volte meno calorico della lamina n° 12, che è cristallo di rocca affumicato; da quattro ad otto volte meno della lamina n° 6 composta di spato fluoro verdognolo, e da cinque a nove volte meno della lamina n° 5 formata di berillo giallo verdognolo (§. 1072). Le differenze non sono meno apparenti nella classe dei liquidi, pei quali l'irradiazione calorifica e luminosa è d'intensità non minore a quella della lucerna Locatelli. Infatti dal quadro suriferito (§. 1071) si apprende che gli olii d'ulive, di noce, di colza trasmettono tre volte più calorico dell'acqua distillata, e che la trasmissione calorifica dell'ultimo liquido limpidissimo è sei volte inferiore a quella del bicloruro di solfo, che pel suo colore rosso-granato assai carico costituisce il liquido meno trasparente della serie. Dai risultati riferiti nell'ultimo quadro (§. 1072, si riconosce pure che la trasparenza calorifica e la luminosa si manifestano altresì differenti colle irradiazioni provenienti da semplice incandescenza senza fiamma o da sorgenti oscure.

1075. La differenza riscontrata fra la diatermasia e la diafanità dei corpi va ancor più oltre e ci offre una compiuta opposizione, o in altri termini *un corpo perfettamente opaco può essere diatermico*, ed

all'inverso *un corpo adiatermico può essere diafano.* Infatti si prenda del vetro nero e si riduca in una lamina più sottile possibile lavorando le due facce senza fogliergli della sua opacità. Affine d'esserne sicuro devono non solo riuscire invisibili i corpi terrestri guardati a traverso la lamina; ma bisogna che non apparisca la minima traccia di trasmissione luminosa lorchè si cerca di guardare a traverso di essa il sole. Ottenuta questa condizione, si colloca la lamina sul sostegno O di contro all'apertura dello scrimaglio N (fig. 244), ed esperimentando nel modo descritto (§. 1070) si trova che il calorico irradiato dalle tre prime sorgenti (§. 1064) passano per la lamina opaca in una proporzione più o meno grande secondo la grossezza della medesima, giungendo al quarto, al terzo e superando ben anche in certi casi la metà di quello incidente. Le lamine di mica nera e di salgemma in uno stato particolare d'opacità offrono risultanze analoghe.

Su questo passaggio non vi ha alcun dubbio e per accertarsene si puo ripetere la prova superiormente indicata (§. 1068). Per essere ancor più convinti che le indicazioni dipendono per nulla dal riscaldamento della lamina si può ripetere quest'altro sperimento di Melloni (1). Si prendono due scrimagli traforati, che si assicurano sulla grande verga dell'apparato (fig. 244) alla distanza fra loro di circa due decimetri e disposti in modo che le loro aperture si trovino sull'asse dell'irradiazione calorifica. S'introduce poscia fra essi la lamina opaca, che si trasporterà dall'una all'altra apertura dei due scrimagli, e si vedrà che questo cambiamento di posizione non produce veruna alterazione valutabile nell'indicazione del termoscopio, alterazione che avrebbe avuto luogo se l'azione manifestata derivasse in parte dal riscaldamento della lamina. Con ciò resta provato che *corpi opachi possono essere diatermici:* in quanto alla proposizione inversa che *corpi diafani possono essere adiatermici*, ne abbiamo l'esempio nell'acqua, la quale disposta in uno strato di certa grossezza non lascia passare le irradiazioni calorifiche, mentre è attraversata facilmente da quelle luminose; come pure nell'alume e in altri corpi dotati di grande trasparenza e di poca o nessuna trascalescenza.

Il passaggio a traverso corpi opachi è una prova evidente dell'esistenza di irradiazioni calorifiche oscure; per cui non deve far meraviglia se queste si sono trovate nei raggi solari (§. 884); e se la luce delle sorgenti terrestri contenga una quantità più o meno grande di

(1) Si vegga l'opera di lui su citata: *La termocrosi* ecc., pag. 174.

raggi calorifici oscuri. A malgrado della loro incapacità d'azione sull'organo della visione, queste irradiazioni oscure delle fiamme e dei corpi incandescenti si compongono pure di parecchi elementi dotati di proprietà analoghe ai colori delle irradiazioni luminose. Sgraziatamente i fatti, che mostrano la verità di tale proposizione, non presentano quella bellezza e quella magnificenza, che offre la decomposizione delle irradiazioni luminose (§. 807); essi colpiscono soltanto l'intelletto senza apparire ai nostri sensi come quelli della luce.

1076. Interessava d'indagare se, nei cristalli dotati di assi ottici (§. 833), la trasmissione del calorico irradiante fosse più abbondante in questa o in quell'altra direzione. Melloni fece dividere un bel cristallo di rocca in tre lamine perfettamente eguali: la prima tagliata perpendicolarmente all'asse; la seconda parallelamente ad una delle facce laterali, e la terza inclinata su di essa di 45°. Queste lamine, poste al cimento, diedero tutte 52 centesime parti di calorico trasmesso. Lo spato islandico ha fornito a Knoblauch risultati analoghi.

Questi fatti conducono alla conseguenza che *la trasmissione calorifica non dipende nè dalla forma, nè dalla tessitura dei corpi cristallizzati, nè dalla direzione con cui vengono tagliate le lamine rispetto agli assi cristallografici.*

1077. L'irradiazione oscura ci fa accorti che *l'esistenza del calorico è indipendente da quella della luce*; o in altri termini, che la *facoltà riscaldante* non ha per condizione essenziale la *visibilità*. Giacchè la proprietà d'un'irradiazione d'essere luminosa non è inerente alla natura del fluido, che forma l'irradiazione medesima; ma alla sensibilità ed alla delicatezza dell'organo, su cui vien fatta l'impressione. Sappiamo infatti che certe irradiazioni, luminose per alcuni individui e per alcuni animali, riescono oscure per altri individui ed animali (§. 926). La trasmissibilità non si limita soltanto alle irradiazioni oscure del calorico delle sorgenti a 400° ed a 100° (§. 1072); ma si estende alle irradiazioni delle sorgenti calorifiche, che superano appena di alcuni gradi la temperatura dell'aria ambiente. Infatti, collocando una lamina di salgemma, di solfo, di spato fluoro vicino all'apertura del tubo della pila termoscopica, e presentando poscia il palmo della mano ad una certa distanza dalla lamina, si osserva ben presto l'indice del galvanometro mettersi in movimento come se i raggi calorifici cadessero direttamente sulla pila; mentre con lamine molto più sottili di cristallo di rocca, d'alume, di vetro e di altri corpi meno diatermici dei precedenti l'irradiazione

calorifica della mano viene compiutamente intercettata e l'ago dello strumento si mantiene in quiete.

Le proporzioni relative di calorico, trasmesso dai diversi corpi diatermici, si è veduto che cambiano secondo la qualità della sorgente e il fenomeno trae la sua origine dalla natura dei raggi calorifici e non dalla loro quantità, per cui a pari circostanze questa può solo aumentarne gli effetti, senza che si possa dedurre che per diversi corpi diatermici debbano sempre risultare effetti maggiori a misura che la sorgente è di temperatura più elevata. Al tempo delle sperienze di Delaroche si credeva che le trasmissioni calorifiche aumentassero in ragione della temperatura, indipendentemente dalla natura stessa delle irradiazioni, e che la scala della diatermasia fosse sotto tal rapporto invariabile (§. 1067). Questa credenza era invalsa ancora in questi ultimi anni e potrebbe perdurare nei meno accorti osservando che la trascalescenza conserva generalmente una certa relazione a misura che dalla sorgente oscura a 100° si passa a quelle delle fiamme e di temperature più elevate (§. 1072).

Ultimamente Knoblauch ha adoprato come sorgente calorifica il platino incandescente, la fiamma d'alcoole, quella della lucerna ad olio con caminetto di vetro e la fiamma d'idrogeno, per indagare se la quantità di calorico trasmesso manifestasse qualche rapporto costante colla temperatura della sorgente (1). Fra le sperienze da lui istituite con diversi corpi diatermici, riportiamo la seguente: collocò egli successivamente a tali distanze dalla pila il platino incandescente, la fiamma d'alcoole, la lucerna ad olio e la fiamma d'un getto d'idrogeno, in modo che producevano nell'ago del galvanometro la deviazione di 20 gradi; interponendovi poscia una lamina di vetro della grossezza di millimetri 1,3, osservò che l'ago deviava rispettivamente di 12, 11, 15 e di 12 gradi. Il calorico della fiamma d'alcoole, che proviene da una sorgente di maggiore temperatura del platino incandescente, ha dato un effetto minore; e quello della fiamma dell'idrogeno, di temperatura ancor più elevata, un effetto appena eguale. Egli ritrovò pure nessuna relazione fra la trasmissione e la temperatura esperimentando con lamine d'allume, di mica bianca e verde, di salgemma, di spato islandico e di gesso. Ma a meglio decidere la questione, Knoblauch esaminò il passaggio per lamine diatermiche delle irradiazioni calorifiche provenienti dal medesimo corpo riscaldato a differenti temperature. Il platino riscaldato al rosso oscuro, al

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 10.

rosso ciliegia ed al rosso bianco diede pure delle irradiazioni, le quali nel passaggio per corpi diatermici non presentarono alcun rapporto determinato colle temperature delle sorgenti da cui provenivano. Egli trovò che le irradiazioni del platino al rosso ciliegia attraversavano una lamina d'alume in un rapporto minore di quelle provenienti dal platino riscaldato al rosso oscuro. Lo stesso ha luogo con una lamina di gesso, mentre colla mica bianca e verde la trasmissione aumenta colla temperatura. Melloni istituì pure delle indagini somiglianti (1), e non bisogna credere che questi fatti, così importanti per la termocrosi, siano vaghi, incerti, e difficili ad essere osservati; essi sono invece sicuri e facili ad essere ottenuti per tuttti coloro che posseggono un apparecchio termelettrico. Se si operi sotto un'azione diretta capace a produrre 30° di deviazione nel galvanometro e, dopo aver notate le deviazioni corrispondenti alle interposizioni successive d'una lamina di mica nera o d'una di vetro incoloro, si passi dalla sorgente della fiamma d'alcoole a quella della fiamma d'olio, il galvanometro indicherà una trasmissione più piccola di 4 in 6 gradi per la prima lamina più grande di 8 in 12 gradi per la seconda. Da tutto ciò si deduce che *il potere trasmittente dei corpi per le irradiazioni calorifiche non ha verun rapporto colla temperatura della sorgente, come si credeva per l'addietro.*

1078. L'esperienza mostra che i raggi di calorico oscuro sono copiosi in molti flussi luminosi. Si comprende quindi come certi corpi soltanto termocroici possono assorbire quasi tutto il calorico oscuro e per la loro trasparenza non indebolire gran fatto la luce; ed all'inverso corpi opachi ma diatermici possono assorbire quasi interamente la luce senza intercettare gran numero di raggi calorifici.

Nello spettro solare la facoltà illuminante non va d'accordo con quella calorifica, e si trovano eziandio raggi di calore fuori della parte visibile, anzi la maggior temperatura si è riscontrata al di là dell'estremo rosso (§. 884). Servendosi del termoscopio elettrico per esaminare il calore dei diversi raggi dello spettro, si ottengono risultati più precisi di quelli che si sono avuti col termactinometro ad aria altrove riportati (§. 884). D'altronde noi siamo ora in istato di comprendere come, adoperando prismi di differenti materie, variano nei colori dello spettro i rapporti delle temperature. Melloni ha istituito sul calore dello spettro solare una numerosa serie d'indagini (2), ed ha

(1) *La termocrosi* ecc. su citata, pag. 178.
(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIV; pag. 27, e 115

fatto successivamente transitare le irradiazioni colorate per uno strato d'acqua di poco più di 4 millimetri di grossezza: egli rinvenne che in tale passaggio il massimo di temperatura si trasferiva dai raggi meno rifrangibili (dal rosso) verso quelli più rifrangibili (il violaceo); ossia che le zone meno rifrangibili provarono in tal passaggio maggior perdita di quelle più rifrangibili. Da ciò si deduce che nei raggi luminosi meno rifrangibili si contiene una gran quantità di calorico oscuro, che è facilmente intercettato dall'acqua, mentre il calorico negli altri più rifrangibili è quasi per intero luminoso. Per avere una esatta nozione sulle temperature proprie alle diverse zone dello spettro, bisognava scomporre il raggio solare col prisma di salgemma, il quale per dar adito a qualunque irradiazione calorifica costituisce per così dire il *vetro bianco pel calore*. Quest'esperienza venne infatti intrapresa da Melloni ed allora ritrovò che il massimo di temperatura era realmente nello spazio oscuro, non già a contatto dell'estremità rossa, come l'aveva trovato Herschel padre col prisma di flinto, ma totalmente distaccato dai colori ad una distanza pressochè eguale a quella che corre in opposta direzione tra il rosso ed il giallo. La diversità dunque, che si è trovata nella distribuzione delle temperature dei diversi colori dello spettro solare, dipende dalla termocrosi delle materie di cui si componevano i prismi, coi quali si è sperimentato. Ed ecco perchè Seebeck, operando con un prisma d'acqua, ha rinvenuto il massimo calore nel raggio giallo (§. 884); essendo questo liquido molto adiatermico pel calorico oscuro.

Melloni dimostra altresì col ragionamento e coll'esperienza come il trasporto del massimo di calore verso i raggi i più rifrangibili può succedere eziandio in virtù del solo aumento di larghezza nel prisma sottoposto all'irradiazione solare. Scevrando le irradiazioni luminose da quelle oscure Melloni ha trovato che le prime posseggono un calore proprio il quale segue esattamente le loro vicissitudini, per modo che *le diverse fasi d'un dato raggio luminoso perfettamente isolato possono dedursi egualmente e dai rapporti lucidi e da quelli calorifici.*

La temperatura appena valutabile all'estremità violacea, aumenta gradatamente ma con lentezza nell'indaco e nell'azzurro, ove essa è ancor debole. Oltrepassato l'azzurro, il calore diventa un poco più forte nei colori seguenti: nei raggi giallo, aranciato e rosso esso aumenta considerabilmente e, limitandosi allo spettro visibile, raggiunge il suo massimo all'estremità di quest'ultimo colore. La differenza di temperatura fra i raggi di color violaceo, indaco, azzurro e verde da un lato, e quelli del giallo, aranciato e rosso dall'altro, è tal-

mente grande che il primo gruppo di raggi può essere considerato come freddo per rapporto al secondo. Al di là del rosso la temperatura, come si disse, diventa ancor più grande in virtù delle irradiazioni oscure.

1079. Aumentando la grossezza dei corpi diatermici diminuisce in generale la quantità di calorico trasmesso, nello stesso modo che va scemando l'intensità della luce a misura che si accresce la lunghezza del corpo diafano pel quale deve transitare. Primieramente osserviamo con Melloni che un cambiamento di grossezza fa variare bensì nel salgemma il valore assoluto della trasmissione calorifica, senza però che questa materia atermocroica alteri la costanza della proporzione degli elementi del calorifico lanciato successivamente dalle diverse specie di sorgenti. La lamina di salgemma di millimetri 2,6 trasmetteva sempre 92,3 del calorico incidente irradiato da qualunque delle quattro sorgenti (§. 1072). Ora un bel cristallo di questo minerale, della lunghezza di 125 millimetri fra le due facce parallele e polite, ha fornito sempre la trasmissione di 71 centesime parti del calorico incidente tanto per l'irradiazione della fiamma quanto per quella dei corpi riscaldati al dissotto dell'incandescenza. Un tal pezzo di salgemma aveva dei punti nebulosi ed altri difetti di omogeneità, che si riscontrano sempre nei grandi cristalli di tale specie. Ma, operando Melloni successivamente su parecchi pezzi di sali limpidi e più o meno grossi entro i limiti di 10 in 20 millimetri, ha ottenuto nel medesimo tempo la costanza di trasmissione in ciascun pezzo esposto alle diverse sorgenti calorifiche; vale a dire che le lamine assai pure di salgemma trasmettono costantemente 92,3 per ogni sorta di sorgente e per qualunque grossezza presa entro i limiti nominati. Questa costanza non si verifica a traverso lamine di maggiore grossezza dotate ben anche della più grande purezza, giacchè l'azione uniforme del cristallo, sopra tutti gli elementi del flusso calorifico, incomincia a diventare sensibile sullo strumento, come avviene nella trasmissione della luce pel vetro, per l'acqua, e per ogni altro mezzo incoloro di certa estensione.

Avviene diversamente operando coi mezzi termocroici; giacchè per ciascuno di essi le differenze dei rapporti di trasmissione dall'una all'altra sorgente diminuiscono rapidamente colla grossezza della lamina. Il vetro e la selenite o calce solfata con lamine della grossezza di millimetri 2,6 hanno dato a Melloni per le quattro sorgenti il calorico trasmesso notato sotto i numeri 9 e 26 del quadro (§. 1072);

e con lamine di quelle materie di minor grossezza si ebbero dalle medesime irradiazioni calorifiche i risultati seguenti

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vetro. . | *millim.* 2,6 | *Trasmiss.* | 39. | 24. | 6. | 0 |
| | « 0,5 | « | 54. | 37. | 12. | 1 |
| | « 0,07 | « | 77. | 57. | 34. | 12 |
| Selenite | « 2,6 | « | 14. | 5. | 0. | 0 |
| | « 0,4 | « | 38. | 18. | 7, | 0 |
| | « 0,01 | « | 64. | 51. | 32. | 21 |

Da questi risultati si apprende che il calorico trasmesso, non solo va diminuendo per la stessa sorgente coll'aumentare la grossezza della lamina, ma le differenze dei rapporti di trasmissione dall'una alle altre sorgenti scemano invece rapidamente colle grossezze delle lamine e quindi vanno accostandosi al punto d'ottenere la stessa trasmissione per qualunque sorgente come col mezzo atermocroico del salgemma. Infatti il rapporto di trasmissione dalla prima alla seconda sorgente, che era di $\frac{39}{24}=1,63$ per la lamina di vetro di 2,6 di grossezza, diventa 1,35 per la lamina di 0,07. Quello dalla prima alla terza, che eguagliava 6,50 per la lamina di 2,6, si riduce a 2,26 per la lamina di 0,07. Infine il rapporto di trasmissione dalla prima alla quarta sorgente che era infinito per la lamina di 2,6, è soltanto di 6,42 quando si tratta della lamina di 0,07. Nella selenite, mentre il rapporto di trasmissione dalla prima alla seconda sorgente è di 2,80 per la lamina della grossezza di 2,6, diventa 1,25 per la lamina di 0,01, e così si dica degli altri rapporti.

1080. Dalle precedenti sperienze si apprende altresì che collo scemamento della grossezza si giunge ad ottenere delle trasmissioni, le quali non esistevano per grossezze maggiori. Infatti i raggi della quarta sorgente, totalmente intercettati dal vetro della grossezza di 2,6, incominciano a mostrarsi a grossezze minori. Parimenti i raggi della terza sorgente intercettati dalla selenite della grossezza di 2,6, diventano già sensibili quando si giunge alla grossezza di 0,4; e le irradiazioni della quarta sorgente, che sono ancora intercettate dallo stesso minerale di questa grossezza, si mostrano assai distintamente lorchè la grossezza ha raggiunto 0,01.

Un corpo, che relativamente ad un altro della stessa grossezza si mostra meno diatermico, può, colla diminuzione della medesima, aumentare il suo potere trasmittente in modo che per le quattro

sorgenti annoverate diventi più diatermico dell' altro, di cui non si è variata la grossezza. La selenite trasmette meno calorico del vetro, preso l'uno e l'altro corpo della grossezza di 2,6, e le precedenti sperienze in riguardo alle quattro sorgenti annoverate danno

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| pel vetro . . . . . | 39. | 24. | 6. | 0. |
| per la selenite . . . | 14. | 5. | 0. | 0. |

Ma, diminuendo la lamina della selenite e portandola alla grossezza di 0,4, le trasmissioni per questa materia diventano 38 | 18 | 7 | 0; valori presso che eguali a quelli del vetro, eccetto il secondo che è un poco minore. Riducendo ancor più la lamina di selenite e portandola alla grossezza di 0,01, le trasmissioni di essa sono 64 | 51 | 32 | 21, che superano di molto la diatermasia del vetro della grossezza di 2,6 per le quattro irradiazioni calorifiche.

Siccome le diverse qualità di calorico, producono differenze considerabili, tanto nelle trasmissioni d'una sola lamina esposta successivamente alle irradiazioni di parecchie sorgenti diverse, quanto nelle trasmissioni delle diverse lamine esposte all'irradiazione d'una sola sorgente, e siccome le trasmissioni stesse diminuiscono colla grossezza; così se ne trae la conseguenza che il calorico non solo viene intercettato alla superficie, ma *ben anche nell' interno stesso delle materie diatermiche.* Laonde, se si potessero queste materie ridurre abbastanza sottili, gli effetti della termocrosi scomparirebbero e tutti i corpi darebbero una trasmissione costante ed eguale a quella del salgemma per qualunque irradiazione calorifica.

I corpi molto diatermici, come il solfo e lo spato fluoro, devono essere i primi a raggiungere un tal limite di atermocrosi; ma non si possono ridurre in lamine assai sottili e polite in causa della loro struttura vitrea, per cui nella sfaldatura si rompono e vanno facilmente in piccoli pezzi. Melloni ha sperimentato le lamine di mica, le quali sotto la grossezza di mezzo millimetro danno delle trasmissioni presso a poco uguali alle lamine di selenite. Distaccando dalla mica delle lamine estremamente sottili, esse forniscono delle trasmissioni che superano tutte quelle degli altri corpi eccetto il salgemma. Il calorico oscuro, ch' era interamente assorbito dalla lamina di mica di mezzo millimetro, attraversa quelle foglie esilissime in proporzioni assai considerabili e si ottengono delle trasmissioni che si avvicinano molto a quella del salgemma. Una lamina incolora di mica ha fornito a Melloni, per le quattro sorgenti più volte annoverate, 86 | 85 | 61 | 46, ed un' altra lamina

leggermente rossa ha dato 89 | 89 | 72 | 69. Per cui Melloni conchiude che *le trasmissioni pei mezzi termocroici tendono al limite d'intensità rappresentato dal valore costante della trasmissione pel salgemma,* al qual limite i corpi si accostano più o meno col diminuire la grossezza secondo la loro natura.

Nel salgemma al contrario perfettamente puro la grossezza più o meno grande delle lamine non esercita veruna influenza sulla quantità di calorico trasmesso (§. 1079); per cui le irradiazioni calorifiche di qualunque specie non subiscono nell'interno di quella materia verun assorbimento valutabile. Si deduce quindi che la differenza dei calori, incidente e trasmesso, cioè 100—92,3=7,7 è, dovuta alla sola riflessione del calorico alle due superficie delle lamine, ed eguaglia quasi un tredicesimo di quello incidente. Risulta altresì, dalla costanza di trasmissione del salgemma per le irradiazioni delle diverse sorgenti, che ogni qualità di calorico prova alla superficie di quel mezzo delle riflessioni sensibilmente eguali.

1081. Molti fatti di calorico, irradiante da diverse sorgenti e transitante per parecchie materie solide e liquide, ci hanno portato dapprima a congetturare che un tal agente sia composto di raggi elementari a somiglianza di quelli colorati della luce, e ad ammettere corpi diatermici per alcuni soltanto di quei raggi ossia la termocrosi (§. 1073). Abbiamo poscia mostrato che la trasparenza per la luce non va d'accordo con quella del calorico o colla diatermasia (§. 1074); che si danno altresì corpi opachi diatermici, ed all'inverso corpi trasparenti adiatermici (§. 1075); e che la struttura dei cristalli non esercita veruna influenza sulla trasmissione calorifica (§. 1076). L'esperienza ci ha inoltre convinto che l' esistenza del calorico è indipendente dalla presenza della luce, e che vi hanno irradiazioni calorifiche oscure (§. 1077), per cui nello spettro solare i raggi più luminosi non sono i più calorifici (§. 1078). Infine, sempre progredendo colla scorta dei fatti, si è riconosciuto nel salgemma un corpo diatermico, che non altera la natura delle irradiazioni calorifiche, mentre in parecchi corpi siamo indotti ad ammettere un potere trasmissivo in cui alcuni elementi del calorico sono assorbiti (§. 1079), potere che diventa più o meno sensibile colla grossezza dello strato che dà passaggio all'irradiazione (§. 1080). Ora, all'appoggio dell'esperienza, dobbiamo fare un passo più avanti e dimostrare con Melloni che realmente *le differenze di trasmissione dei corpi derivano da una forza assor-*

*bente interna* al pari della trasmissione per la luce (§§. 769 e 830); al quale scopo dobbiamo far precedere alcune considerazioni e notizie.

Se è vero che le differenze di trasmissione siano dovute ad una forza assorbente interna differente nei diversi mezzi, bisogna che tutte le lamine diatermiche riflettano sensibilmente 7,7 del calorico incidente al pari del corpo atermocroico il salgemma. Melloni ha istituito colla maggior diligenza parecchie serie d'esperienze sulle variazioni di grossezza e di trasmissione calorifica di cinque materie omogenee, di cui tre solide e due liquide (1). Queste materie sono: il vetro, il cristallo di rocca limpido, il cristallo di rocca affumicato, l'olio di colza e l'acqua distillata. Il metodo di sperimentare era quello su descritto (§. 1070) tanto pei solidi che pei liquidi. Siccome poi la trasmissione calorifica per questi ultimi non poteva essere osservata che a traverso lastre solide diafane, dalle quali erano ritenuti; così importava di stabilire dapprima se la presenza dei sottili vetri, di cui si componevano quelle lastre, influisce sulla quantità di calorico trasmesso, e nel caso affermativo misurare il valore di tale influenza.

L'olio di colza non scioglie il salgemma, per cui si poteva al vetro sostituire questo minerale, che non altera le irradiazioni calorifiche. L'esperienza mostrò che con questa sostituzione si avevano esattamente le medesime trasmissioni per istrati liquidi superiori a tre millimetri; talchè per tutte le grossezze maggiori di tre millimetri hanno potuto servire le piccole lastre di vetro. Al disotto di questo limite si è adoprato il salgemma.

Sperienze preliminari fatte coll'acqua hanno dimostrato che la sua debole trasmissione calorifica non prova veruna alterazione valutabile, quando si sciolgono in essa dei corpi che, essendo allo stato solido, danno delle trasmissioni molto differenti. Infatti per le grossezze di due in tre millimetri il salgemma trasmette dieci volte maggior calorico dell'alume nell'irradiazione la più trasmissibile da quest'ultima materia, che è quella della fiamma (§. 1072); tuttavolta *l'acqua saturata di sale o d'alume, essendo sottoposta all'irradiazione della lucerna, dà delle trasmissioni sensibilmente eguali* (§. 1072, numeri 25 e 26 del quadro).

Ciò posto, Melloni invece dell'acqua pura si è servito di acqua saturata di salgemma; ed allora ha potuto sostituire alle lastre di

(1) Si vegga l'opera di lui: *La termocrosi* ecc., pag. 198 e seguenti.

vetro lastre di quel sale per racchiudere il liquido senza pericolo che questo, pel suo stato di saturazione, lo sciogliesse. Da sperienze di confronto istituite con l'acqua, rinchiusa ora fra sottili lastre di salgemma ed ora di vetro, Melloni ha potuto convincersi che, per quanto fosse sottile lo strato liquido, essa non presentava differenza valutabile nelle quantità di calorico trasmesso tanto che si servisse di lastre di quel sale quanto di lastre di vetro, e ne dedusse quindi che le indagini, intorno alla trasmissione dell'acqua, potevano essere fatte col sussidio delle ultime lastre senza verun timore che la loro azione assorbente ne alterasse i risultati. Osserviamo di passaggio che questi fatti dimostrano una diatermasia molto più debole nell'acqua che nel vetro. Il liquido poi è così poco diatermico che *uno strato d'acqua d'un sol millimetro basta per intercettare compiutamente il calorico irradiato dai corpi al disotto dell'incandescenza;* e l'olio di colza è bensì dotato di trascalescenza superiore a quella dell'acqua, ma minore di quella del vetro principalmente alle basse temperature. È per ciò che nelle sperienze si sono tralasciati pei due liquidi i risultati relativi alla terza sorgente, che fornisce delle irradiazioni troppo deboli per essere misurate con un grado conveniente di precisione.

1082. Melloni ha disposto in un quadro i risultati delle osservazioni sui cinque corpi nominati ripetute e variate con istrati di differenti grossezze, le quali ridusse in serie di numeri interi e di parti aliquote di millimetro col metodo grafico o con quello d'interpolazione; giacchè, in causa delle difficoltà meccaniche di riduzione, non si potevano ottenere delle grossezze crescenti in unità e in parti aliquote di millimetro (1). Da un tal quadro si apprende che le irradiazioni decrescono rapidamente passando dagli strati di minore a quelli di maggiore grossezza; e, giunto ad un certo punto, l'aumento della grossezza non produce più nelle irradiazioni che perdite assai deboli ed insensibili. Transitando l'irradiazione della lucerna Locatelli per lo strato di vetro della grossezza di millimetri 0,5, essa è ridotta da 100 a 77,5, e per quello di mill. 1 a 73,3; talchè da 0,5 ad 1 la perdita risulta di 77,5—73,3=4,2. Ma a 7 millimetri la trasmissione è di 60,0, e ad 8 di 59,2; talchè per l'aumento di

(1) Le relazioni fra le grossezze degli strati dei corpi diatermici e i valori di trasmissione vennero rappresentate con formole da Biot, dalle quali si ottengono i risultati delle osservazioni e tutti i punti intermedii. Esse sono state inserite nel t. XIV delle *Memorie dell'Academia delle scienze* di Francia, ultima serie.

grossezza d'un millimetro la perdita risulta di 60,0—59,2=0,8 e per mezzo millimetro quindi di 0,4. Dunque nell'aumento di grossezza di mezzo millimetro nei primi due strati la perdita era di 4,2 e negli ultimi due 0,4, vale a dire quasi l'undecima parte. Per le tre prime sorgenti della lucerna Locatelli, del platino incandescente e del rame a 400°, le perdite delle irradiazioni a traverso il vetro e il cristallo di rocca limpido sono come segue:

| | *Pel vetro* | | | | *Pel cristallo di rocca limpido* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Da millim. 0,5 ad 1 . | 4,2. | 10,6. | 4,5. | — | 1,8. | 4,4. | 3,5. |
| Da « 7.5 ad 8 . | 0,4. | 0,6. | 0,05. | — | 0,1. | 0,7. | 0,2. |

Le perdite pel cristallo di rocca affumicato sono per le tre sorgenti nominate come segue:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Da millim. 0,5 ad 1 . . . | 3,1. | 5,0. | 3,1. |
| Da « 3,5 a 4 . . . | 0,85. | 1,3. | 0,4. |

Le trasmissioni riferite nel quadro per questo corpo saltano dalla grossezza di 4 sino a quella di 86 millimetri, e provano rispettivamente le perdite di 12,4; 19,8; 6,3 in riguardo alle tre nominate sorgenti; talchè in quell'aumento di 82 millimetri si avrebbero per un solo mezzo millimetro le perdite di pochi centesimi. Le perdite per l'olio di colza e per l'acqua distillata delle irradiazioni ottenute colla lucerna Locatelli e col platino iucandescente sono:

| | *Per l'olio di colza* | | | *Per l'acqua* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Da millim. 0,5 ad 1 . | 15,7. | 9,2. | — | 5,8. | 3,0. |
| Da « 1,5 ad 8 . | 0,4. | 0,4. | — | 0,1. | 0,1. |

Le perdite dovute all'aumento di mezzo millimetro per le grossezze maggiori divengono così piccole, che svaniscono, o non si possono più valutare cogli strumenti termoscopici più squisiti, e per renderle sensibili bisogna che l'aumento sia di molti millimetri.

L'esperienza dunque insegna che, quando le irradiazioni hanno attraversato un corpo diatermico d'una certa grossezza, il calorico, trasmesso da questo corpo, prova delle perdite insensibili per l'aumento di grossezza di qualche millimetro. Se quindi questo aumento consiste nell' aggiunta d'un sottile strato del medesimo corpo diatermico, la perdita, che ne risulterà dall'esperienza, si dovrà attribuire alla riflessione sulle due superficie di questo strato e non all'assorbimento fatto dal medesimo, il quale si è veduto essere del tutto

insignificante. Melloni perciò tagliava dal corpo, che voleva porre al cimento, una lamina assai sottile, e dopo averne ben polite le due facce e quella della grossa lamina, faceva transitar l'irradiazione calorifica attraverso a quest'ultima. Approssimava però la sorgente in modo d'ottenere delle irradiazioni emergenti d'intensità presso che eguale a quelle delle irradiazioni, che giungono liberamente sulla pila termoscopica nelle ordinarie trasmissioni, onde avere, coll'aggiunta della laminetta, effetti abbastanza sensibili. Interponendo ora la laminetta al tragitto dell'irradiazione, che esce dalla grossa lamina della stessa qualità, la prima deve comportarsi come il salgemma; vale a dire che, tanto coll'interposizione della laminetta del corpo cimentato quanto col salgemma, deve la deviazione del galvanometro, che supporremo di 35°, *diminuire nei due casi della medesima quantità*. Laonde, calcolando la trasmissione secondo la retrocessione dell'indice galvanometrico, la laminetta deve dare 92,3 di calorico trasmesso e 7,7 di riflesso come il salgemma. È questo appunto ciò che si verifica coll'esperienza per tutte le materie diatermiche e per ogni specie di raggi calorifici trasmissibili in quantità sufficiente per la grossa lamina anteriore. Non è necessario, come si è veduto, che quest'ultima abbia una grande grossezza: due o tre centimetri bastano pel vetro, pel cristallo di rocca, per l'acqua, per l'alume e per tutte le materie termocroiche incolore.

Si giunge al medesimo risultato confrontando il calorico trasmesso per una gran lamina con quello che passa a traverso un dato numero di laminette più sottili formanti assieme una grossezza presso che eguale. Infatti, essendo perfettamente eguale l'assorbimento subíto dall'irradiazione nei due casi, la diminuzione, che succede pel cumulo delle laminette, è dovuta unicamente al maggior numero di riflessione dei raggi nel passaggio dall'una all'altra superficie delle medesime. Ora si determini coll'esperienza le trasmissioni calorifiche per la lamina grossa e pel cumulo di laminette, indi si calcoli la trasmissione per l'una e per l'altro e si avrà facilmente la quantità di calorico riflesso alle superficie nel modo che andiamo a dichiarare. Sia infatti 1 il calorico incidente ed $\frac{1}{m}$ la quantità intercettata, è chiaro che $1 - \frac{1}{m} = \frac{m-1}{m}$ esprimerà quella trasmessa per una sola lamina. Per un numero $n$ di laminette, che abbiano nel loro complesso l'egual potere assorbente e la perdita si valuti soltanto per riflessione alla superficie, la tras-

missione è espressa da $\frac{(m-1)^n}{m^n}$ (§. 769). Ora una lamina di vetro della grossezza di millimetri 8,159 e sei laminette della stessa materia formanti un cumulo di millim. 8,274, furono l'uno e l'altra successivamente sottoposti da Melloni all'irradiazione della lucerna Locatelli e diedero rispettivamente le trasmissioni di 23,35 e di 15,11: ma la prima di queste è in generale espressa da $\frac{m-1}{m}$ e la seconda da $\left(\frac{m-1}{m}\right)^6$, per cui si avrà la proporzione

$$\frac{m-1}{m} : \left(\frac{m-1}{m^6}\right)^6 :: 23{,}35 : 15{,}11, \text{ ossia } 1 : \left(\frac{m-1}{m}\right)^5 :: 23{,}35 : 15{,}11,$$

da cui si ricava $\left(\frac{m-1}{m}\right)^5 = \frac{1511}{2335}$,

ossia $5 \; log. \frac{m-1}{m} = log. \; 1511 - log. \; 2335$,

oppure $5 \; log. \frac{m-1}{m} = 3{,}1792645 - 3{,}3682869$,

ossia $log. \frac{m-1}{m} = -0{,}0378045$. Prendendo il complemento e ritornando dai logaritmi ai numeri, si ottiene $\frac{m-1}{m} = 0{,}91663$. Dunque la trasmissione per la prima laminetta è espressa da 0,91663, essendo 1 il calorico incidente, per cui la quantità di calorico riflesso eguaglia 1—0,91663=0,08337; che differisce non molto dalla tredicesima parte. Parimenti una lamina di cristallo di rocca di millimetri 8,122 e sei laminette formanti un cumulo della grossezza di millimetri 8,604, fornirono rispettivamente le trasmissioni di 27,72 e 18,13. Sarà quindi in questo caso $\left(\frac{m-1}{m}\right)^5 = \frac{18{,}13}{27{,}72}$, dalla quale equazione si ottiene coll'uso dei logaritmi $\frac{m-1}{m} = 0{,}91859$, e quindi pel calorico riflesso dal cristallo di rocca 1—0,91859=0,08141 che si approssima ancor più ad un tredicesimo del calorico incidente. La *quantità di calorico riflesso alle superficie anteriore e posteriore di una lamina diatermica qualunque è dunque sensibilmente eguale per tutte le materie a quella del salgemma essendo circa* $\frac{1}{13}$ *del calorico incidente.*

Siamo ora in grado d' inferire che. per l'eguaglianza di riflessione in tutti i corpi diatermici e per le perdite d'altronde così differenti, che subiscono le irradiazioni calorifiche nell'attraversare un mezzo termocroico dato, *queste perdite derivano da una forza assorbente interna sparsa in tutta la massa del mezzo.*

1083. I fenomeni d'assorbimento e di trasmissione del calorico, forniti dai mezzi termocroici e principalmente da tutte le materie diafane ed incolore, eccetto il salgemma, sono somiglianti a quelli pure d' assorbimento e di trasmissione della luce presentati dai mezzi colorati (§§. 830 e 898). Le fiamme di diversi colori compariscono di maggior vivacità a traverso vetri colorati, secondo che la loro tinta si accosta di più o contiene un maggior numero di raggi elementari omologhi al colore del vetro. Se questo colore fosse semplice e nella fiamma non si contenesse verun raggio di colore omologo a quello del vetro, allora sappiamo che la visione sarebbe impedita e la lastra diventerebbe opaca, come avviene di certi vetri rossi in presenza di raggi luminosi verdi (§. 898). Questo fenomeno luminoso è somigliante a quelli di trasmissione e d'interruzione che presentano le lamine di vetro, di selenite, di acido citrico, d'alume e d'altre materie termocroiche esposte alle quattro sorgenti di calore più volte rammentate (§. 1072).

Il cono di vetro azzurro presenta una trasmissione di luce graduata che a certa distanza dalla base conserva una tinta costante di colore, a malgrado aumenti la grossezza (§. 830); al qual fenomeno è analoga la trasmissione di calorico per le lamine termocroiche di grossezza crescente (§. 1082). Nell'uno e nell'altro caso l'intensità della forza assorbente dipende dalla qualità dei raggi incidenti, ed una volta che il flusso calorifico abbia percorso un certo tratto del mezzo termocroico passa più facilmente per gli strati successivi, come succede della luce colorata coi mezzi egualmente colorati.

Si prenda uno di quei vetri verdi tendente all'azzurrognolo, che si trova in commercio e che intercetta compiutamente i raggi luminosi rossi; si abbia altresì una serie di vetri di colore azzurro, indaco, violaceo, aranciato, giallo e rosso ed infine una lamina d'alume od uno strato d'acqua ritenuto fra due sottili lamine di vetro comune. Si collochi uno dei vetri della serie sul sostegno O di contro all'apertura dello scrimaglio N (fig. 244) e si disponga sopra M la sorgente calorifica della lucerna Locatelli a tale distanza che si abbia la deviazione di 25 in 30 gradi nell'indice del galvanometro: se s'interponga al flusso di calorico la lamina d'alume, la deviazione dimi-

nuisce e si arresta ad un certo punto, per es. ad 8 in 10°. Cambiando il vetro colorato ed allontanando od avvicinando la sorgente per avere l'indice del galvanometro ancora a 25 in 30°, s'interponga di nuovo la lamina d'alume, e si vedrà l'indice discendere ancora a circa 8 in 10° se il vetro appartiene alla serie annoverata. Ma se l'interposizione si fa col vetro verde superiormente indicato, l'indice dello strumento si mette a zero e dimostra che il flusso calorifico è intercettato e non giunge più sulla pila termoscopica. La lamina di vetro verde e l'altra d'alume dunque, che erano separatamente permeabili ai raggi calorifici, formano nella loro riunione un corpo adiatermico, vale a dire impermeabile al calorico irradiante. Si ottiene il medesimo effetto sostituendo lo strato d'acqua all'alume, oppure collocando uno di questi due corpi di dietro ad una lamina di mica nera o di vetro nero, materie che sono trascalescenti a malgrado della loro opacità per la luce (§. 1075). In questo come nel caso del vetro verde, si vedono *materie perfettamente limpide* intercettare dei raggi calorifici previamente passati per altro corpo. Si hauno dunque nel calorico irradiante fenomeni somiglianti a quelli della luce, la quale è intercettata dall'accoppiamento di due materie diversamente colorate. Da ciò si deduce evidentemente l'esistenza di *elementi di càlorico colorato,* come pure l'esistenza d'una *colorazione invisibile dei corpi* per rapporto ai raggi calorifici, e in generale la *termocrosi.*

1084. I risultati delle sperienze superiormente riferite (§. 1072) mostrano che *la scala della trascalescenza dei mezzi diatermici* subisce dei cambiamenti notabili dall'una all'altra sorgente calorifica, e che i valori dei rapporti di trasmissione non solo sono alterati, ma talvolta rovesciati, in maniera che un corpo meno trascalescente d'un altro per l'irradiazione d'una certa sorgente lo è di più per quella d'un'altra. Da queste variazioni si deduce che le termocrosi dei mezzi differiscono fra loro al pari delle termocrosi delle irradiazioni incidenti.

Allorquando un corpo, esposto successivamente alle irradiazioni di due sorgenti, somministra differenti trasmissioni, si ha nel medesimo tempo una prova della sua natura termocroica e della diversità di termocrosi delle irradiazioni medesime. I flussi calorifici e i mezzi dotati della stessa termocrosi devono manifestare dunque le stesse vicissitudini e fornire trasmissioni eguali. Non si creda però che, se un cambiamento di trasmissione provi una differenza di qualità in riguardo ai mezzi ed ai raggi calorifici che li attraversano, abbia luogo la proposizione inversa, e che una differenza di qualità esiga

sempre una variazione nella quantità di calorico trasmesso. Imperocchè potrebbe avvenire che un'irradiazione calorifica producesse la medesima trasmissione su due corpi dotati di differenti termocrosi, o che un corpo fornisse la medesima trasmissione sotto l'azione di flussi calorifici composti di elementi diversi. I mezzi termoscopici non posseggono la stessa facoltà degli organi dell'udito e della vista, di distinguere cioè nel medesimo tempo la presenza e le modificazioni che essi percepiscono. Noi giudichiamo simultaneamente dell'*intensità*, del *tuono*, della *tempra*, e della coesistenza dei suoni che colpiscono l'orecchio (§. 710); come pure della *tinta*, della *vivacità* e della *purezza dei colori* che si mostrano all'occhio. Ma i nostri termoscopi sono *sordi* e *ciechi* a tutte le *qualità specifiche* del calorico irradiante; e quantunque diano la somma di diverse irradiazioni incidenti, essi confondono assieme i raggi dotati d'ogni specie di termocrosi.

1085. È con queste riserve che si debbono interpretare i risultati ottenuti da Melloni nei valori di trasmissione d'una data sorgente, i cui raggi, dopo aver attraversato un dato mezzo, si fanno passare per altri corpi diatermici. Egli ha misurato dapprima le trasmissioni per diverse materie in riguardo alle irradiazioni dirette della lucerna Locatelli, cioè pel salgemma, per l'alume, la selenite, il bicromato di potassa e il vetro nero opaco. I flussi emergenti poscia da questi cinque corpi, che possono in certo modo ritenersi come cinque sorgenti calorifiche diverse per l'alterazione che i loro raggi elementari subiscono in quel passaggio, attraversavano altre materie diatermiche, ed osservava l'effetto che produceva sul termoscopio questa seconda emanazione. Quei flussi della seconda trasmissione erano espressi in centesime parti dalle quantità di calorico della seconda incidenza, le quali venivano rese sensibilmente costanti coll'avvicinare convenientemente la sorgente alla lamina e col produrre così delle deviazioni galvanometriche pressochè eguali nel giungere le irradiazioni sulla pila termoscopica dopo aver attraversato una delle lamine delle cinque materie nominate. I risultati in tal modo ottenuti da Melloni si riportano nel seguente quadro dove le lamine, quando non sia altrimenti dichiarato, hanno la grossezza di millimetri 2,6.

| NOMI DELLE MATERIE INTERPOSTE | TRASMISSIONI CALORIFICHE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dell'irradiazione diretta | Dell'irradiazione emergente | | | | |
| | | Dal salgemma | Dall'alume | Dal bicromato di potassa | Dalla selenite | Dal vetro nero opaco |
| Salgemma . . . . . . | 92,3 | 92,3 | 92,3 | 92,3 | 92,3 | 92,3 |
| Calce fluata. . . . . . | 78 | 78 | 90 | 88 | 91 | 91 |
| Berillo . . . . . . . . | 54 | 53 | 80 | 66 | 91 | 57 |
| Spato d'Islanda . . : . | 39 | 40 | 91 | 56 | 89 | 55 |
| Vetro (gross. mill. 0,5) . . | 54 | 54 | 90 | 68 | 85 | 80 |
| Vetro (gross. mill. 8) . . | 34 | 33 | 90 | 47 | 82 | 45 |
| Cristallo di rocca . . . . | 38 | 39 | 91 | 52 | 85 | 54 |
| Bicromato di potassa. . . | 34 | 33 | 57 | 71 | 53 | 24 |
| Barite solfata . . . . . | 24 | 25 | 36 | 25 | 47 | 57 |
| Agata bianca . . . . . . | 23 | 23 | 70 | 30 | 78 | 17 |
| Feldspato adulare. . . . | 23 | 22 | 23 | 43 | 58 | 23 |
| Ambra gialla . . . . . . | 21 | 20 | 65 | 20 | 61 | 8 |
| Vetro nero opaco (gross. mil. 1,8) . . . . . . . . | 16 | 16 | 0 | 14 | 18 | 52 |
| Mica nera opaca (gross. millim. 0,9) . . . . . . | 20 | 20 | 0 | 16 | 12 | 43 |
| Agata gialla . . . . . | 19 | 19 | 57 | 24 | 64 | 14 |
| Berillo marino. . . . . | 19 | 18 | 60 | 26 | 57 | 21 |
| Borato di soda. . . . . | 18 | 18 | 23 | 23 | 33 | 24 |
| Tormalina verde . . . . | 18 | 17 | 1 | 14 | 10 | 30 |
| Gomma comune . . . . | 18 | 18 | 61 | 12 | 52 | 4 |
| Selenite . . . . . . . : . | 14 | 14 | 59 | 22 | 54 | 15 |
| Selenite (gross. mill. 12) . | 10 | 10 | 56 | 17 | 45 | 0,5 |
| Carbonato d'ammoniaca . . | 12 | 12 | 44 | 11 | 34 | 5 |
| Acido citrico . . . . . . | 11 | 10 | 88 | 16 | 52 | 2 |
| Tartrato di potassa e soda . | 11 | 11 | 85 | 15 | 60 | 1 |
| Alume . . . . . . . . | 9 | 9 | 90 | 15 | 47 | 0 |

Ciò, che tosto si manifesta osservando il precedente quadro, è la costanza della trasmissione del salgemma pel calorico emergente dalle diverse specie di corpi diatermici. L'eguaglianza di trasmissione, tanto che il flusso calorifico sia diretto quanto emergente dal sal-

gemma o dalle altre materie, è un'altra prova che questo sale non altera nel passaggio le proporzioni dei raggi elementari del calorico. Si apprende eziandio che non è vera generalmente la legge della maggior trasmissione d'un flusso calorifico per una seconda lamina, quando esso abbia transitato per una lamina anteriore (§. 1067). La tormalina, per es. del n° 18, presenta una trasmissione diretta maggiore di quella che presenta coi flussi calorifici emergenti dall'alume e dalle altre due materie seguenti; un fenomeno consimile presenta la gomma comune per rispetto ai flussi emergenti dal bicromato di potassa e dal vetro nero; come pure altre materie.

Osserviamo altresì che per un corpo l'aumento di trasmissione dei raggi emergenti da un altro non è sempre un indizio certo della somiglianza di termocrosi: giacchè quest'aumento può accadere in un mezzo la cui termocrosi sia assai differente di quella che appartiene al mezzo da cui è preceduto. Così i raggi emergenti dall'alume sono trasmessi pel vetro e pel cristallo di rocca egualmente come per l'alume: non bisogna conchiudere però che quei due corpi posseggano la termocrosi dell'alume medesimo. Se ciò fosse vero, i rapporti dovrebbero conservarsi costanti per ogni specie di irradiazioni calorifiche o per quelle emergenti d'ogni altra materia esposta all'irradiazione diretta od indiretta qualunque. Ma ciò è smentito dai risultati esposti più indietro (§. 1072), come da quelli del precedente quadro. Infatti le trasmissioni del cristallo di rocca e dell'alume, che pel flusso emergente da quest'ultimo corpo sono sensibilmente eguali, cambiano pei flussi emergenti da altre lamine: nella quinta colonna quest'eguaglianza si cambia in 85 : 47, diventa 52 : 15 nella quarta colonna e si trasmuta in un rapporto indefinito nella sesta. Non vi ha quindi alcun dubbio che *la termocrosi del cristallo di rocca sia molto differente da quella dell'alume*. Un esame somigliante sui risultati del quadro conduce pure alla conseguenza che *la termocrosi del vetro non coincide con quella del cristallo di rocca*, ed egualmente si dica degli altri corpi, i quali tutti variano i loro rapporti di trasmissione dall'uno all'altro flusso calorifico, che transita per le lamine di differente natura.

1086. Le differenze osservate fra la *trasparenza* e la *trascalescenza* dei corpi deriverebbero dunque da una *nuova serie di colori*, di cui sono dotate la maggior parte delle materie diafane, ma che operano unicamente sui raggi di calorico oscuro e non possono per conseguenza esercitare veruna azione sull'organo della visione, nè alterare la limpidezza apparente all'occhio dei mezzi incolori. Non dobbiamo

credere però che la distinzione del colore, per mezzo dell'organo della visione di una specie di irradiazione in confronto dell'altra, porti con sè un diverso modo d'esistenza della causa da cui sono prodotte. Imperocchè la *visibilità*, come si disse (§. 1077), dipende dall'organizzazione e dalla delicatezza dell'occhio dell'individuo e non dall'essenza del principio da cui è prodotta (1).

Ora Melloni propone la questione se i mezzi colorati, che operano sulla luce ed alterano la loro visibilità, siano suscettibili d'agire sulle irradiazioni calorifiche invisibili. Il cristallo di rocca limpido e quello naturalmente imbrunito hanno manifestato nessuna differenza di trasmissione nelle irradiazioni oscure: infatti un lievissimo aumento si è avuto bensì nel cristallo limpido per quella più luminosa (§. 1072), ma al contrario in altre sperienze ha fornito una trasmissione maggiore il cristallo imbrunito in confronto di quello limpido (§. 1081). L'imbrunimento dunque ha ben poca influenza sulla quantità di calorico trasmesso pel cristallo di rocca; e se la materia di tinta bruna agisse egualmente sull'irradiazione calorifica e su quella luminosa, si avrebbe una grande perdita di trasmissione nel primo come accade nel secondo caso. Melloni ha altresì istituito un confronto con un cristallo per metà limpido e per l'altra metà naturalmente imbrunito, e la differenza nel potere trasmittente pel calorico era di sì poco momento, che fu necessario un gran numero d'osservazioni per distinguerla. Le medie di trenta misure comparative diedero le trasmissioni per la parte chiara 59,24 e per quell'oscura 58,17. La differenza di diafanità è invece molto grande nei due cristalli. Nell'acqua limpida e in quella imbrunita con qualche goccia d'inchiostro non solo vi ha grande differenza di trasmissibilità luminosa ma anche calorifica, essendosi trovata da Melloni la trasmissione calorifica per l'acqua limpida di 7°,75 e per l'acqua imbrunita di 0°,49. La materia di tinta bruna opera dunque in questo caso con gran potere e sull'irradiazione luminosa e su quella calorifica.

Si comprende la grande differenza d'azione della tinta bruna, nelle due specie di corpi, dall'osservare che il cristallo di rocca è molto diatermico, e nello stesso tempo diafano, e l'acqua invece è un mezzo poco diatermico e molto diafano. Il primo trasmette perciò anche una grande quantità di calorico oscuro, mentre il secondo corpo lo

(1) Si vegga su queso soggetto l'opera di Melloni succitata: *La termocrosi* ecc., pag. 236 e seguenti; come pure la Memoria di lui negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VIII, pag. 279.

intercetta. La tinta bruna, impedendo il passaggio dei raggi luminosi, diminuisce proporzionalmente di più la trasmissione calorifica nell'acqua che nel cristallo, e mostra nella prima una grande differenza fra la trascalescenza e la trasparenza, mentre nel secondo riesce insensibile. Questa interpretazione del fenomeno riceve schiarimento dalla seguente curiosa sperienza. Si prenda una lucerna a caminetto di vetro e la si avvicini successivamente più o meno ad una lamina di cristallo di rocca incoloro e ad uno strato d'acqua egualmente incolora, in modo da produrrre per trasmissione la stessa deviazione di 15 in 20 gradi nell'indice del termoscopio elettrico. Si levi alla lucerna il tubo di vetro e si renda così la combustione meno viva: si vedrà, alle medesime distanze di prima, la deviazione dell'ago galvanometrico *diminuire* di tre in quattro gradi nella trasmissione del flusso calorifico per l'acqua ed *aumentare* di cinque in sei gradi pel cristallo di rocca. Il vetro arresta molti raggi di calorico oscuro (§. 1072), che sono capaci di transitare pel cristallo di rocca, per cui, al levare il caminetto dalla lucerna, questo mezzo aumenta nella quantità di calorico trasmesso pei raggi lasciati liberi dal vetro, aumento che supera la diminuzione avvenuta per l'abbassamento di temperatura nella sorgente. Per l'acqua al contrario il maggior numero di raggi oscuri non aumenta la sua trasmissione, essendo essa adiatermica per questa specie d'irradiazione, e così vien meno per essere scemato il numero di raggi luminosi.

1087. Melloni ha esperimentato l'influenza che i colori propriamente detti esercitano sulla trasmissione calorifica. Egli ha sottoposto alla prova un vetro bianco e parecchi vetri colorati della stessa grossezza, che esponeva all'irradiazione libera della lucerna ed ai flussi calorifici emergenti dal salgemma, dall'alume, dalla selenite e dal vetro nero opaco. Le lamine, da cui emergevano i flussi calorifici, avevano la grossezza di millimetri 2,6 eccetto quella del vetro opaco di millimetri 1,8, e ciascuno dei vetri colorati per cui transitavano le irradiazioni emergenti era della grossezza di millimetri 1,8. Egli ottenne i risultati esposti in centesime parti del calorico incidente come segue:

| VETRI COLORATI | TRASMISSIONI CALORIFICHE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Dell'irradiazione diretta | Dell'irrad. emergente | | | |
| | | Dal salgem. | Dall'alume | Dalla selen. | Dal vetro nero |
| Vetro bianco (incoloro) . . . | 40 | 40 | 90 | 83 | 55 |
| — violaceo (assai carico) . . | 34 | 34 | 76 | 72 | 47 |
| — rosso (assai carico) . . . | 33 | 33 | 74 | 69 | 45 |
| — aranciato (chiaro) . . . | 29 | 29 | 65 | 58 | 39 |
| — verde vegetale (chiaro). . | 25 | 25 | 3 | 20 | 50 |
| — verde minerale (chiaro) . | 23 | 23 | 1 | 15 | 55 |
| — giallo (assai chiaro). . . | 22 | 22 | 49 | 46 | 30 |
| — azzurro (carico) . . . . | 21 | 21 | 47 | 42 | 29 |
| — nero (opaco) . . . . . | 16 | 16 | 0 | 18 | 52 |
| — indaco (assai carico) . . | 12 | 12 | 27 | 26 | 17 |

Consideriamo primieramente l'irradiazione emergente dall'alume, il quale sappiamo che assorbe in totalità i raggi calorifici oscuri (§. 1072) trasmettendo soltanto quelli luminosi. È appunto per tal ragione che in alcune sperienze riportate più sopra (§. 1085), le irradiazioni emergenti dall'alume diedero degli effetti eguali nell'attraversare delle lamine perfettamente incolore, mentre nel passare per quelle compiutamente opache furono interamente intercettate. Applicando queste cognizioni ai risultati esposti nel quadro, vediamo bensì il vetro opaco n° 9 non dare veruna trasmissione, ma le quantità di calorico trasmesso pei vetri colorati non seguono il grado della loro trasparenza, ossia i vetri i più oscuri non sono sempre quelli che danno la minor trasmissione calorifica. La differenza in qualche caso è molto grande: infatti i vetri nn. 5 e 6, che

sono designati come *chiari*, trasmettono 23 e fino a 76 volte *meno calore* dei nn. 2 e 3 che sono indicati di tinta *assai carica*.

Per ispiegare quest'apparente contraddizione alla dottrina della termocrosi, bisogna rammentare che i raggi colorati i più luminosi dello spettro solare non sono i più calorifici (§. 1078), e che i vetri colorati trasmettono nel medesimo tempo parecchie altre specie di raggi luminosi (§. 898). Ora Melloni, osservando lo spettro solare a traverso ai vetri colorati del precedente quadro, ha veduto che quelli di tinta oscura lasciavano passare i colori più caldi dello spettro; e al contrario gli altri di tinta chiara davano adito a colori meno caldi. Il vetro violaceo n° 2 assorbiva la parte centrale dello spettro, che è la più luminosa, ma trasmetteva assieme all'indaco ed all'azzurro tutto il rosso, che è dotato di gran calore. I vetri dei numeri 5 e 6 al contrario intercettavano compiutamente il rosso, l'aranciato e quasi tutto il giallo, e trasmettevano il verde e l'azzurro. Le irradiazioni calorifiche lucide, che emergevano dalla lamina d'alume, venivano dunque decomposte dal vetro n° 2 lasciando passare tutto il raggio rosso, il quale, come dotato di maggior calore, produceva sul termactinometro maggior effetto delle irradiazioni transitanti pei vetri nn. 5 e 6 che intercettavano i raggi più calorifici dello spettro. I vetri che hanno dato delle trasmissioni calorifiche intermedie esercitavano pure delle azioni intermedie sugli elementi luminosi i più caldi e su quelli molto meno caldi dello spettro. I fenomeni dunque avvengono come l'esigono i rapporti calorifici delle diverse tinte trasmesse da quei vetri colorati.

1088. Considerando ora il flusso emergente dal vetro nero, che è di calorico oscuro e che, secondo i risultati della quinta colonna, è trasmesso in maggior quantità dal vetro incoloro che da quelli colorati; se ne deduce che *le materie coloranti agiscono sul flusso del calore oscuro emergente dal vetro nero.* Vi ha il solo caso del vetro n° 6 in cui la colorazione non sembra esercitare veruna influenza, e l'altro del vetro n° 5 in cui l'influenza si riduce a poca cosa. *La materia verde* sparsa nei due vetri, che intercetta, come si disse più sopra, l'aranciato e il rosso dello spettro solare, *possiede dunque anche la singolare proprietà di trasmettere tutti i raggi oscuri* emergenti dal vetro nero opaco. Lasciando il *vetro verde* passare facilmente i *raggi calorifici oscuri* ed intercettando i raggi dotati di maggior luce, e d'altra parte dando adito *l'acqua o l'alume a raggi calorifici lucidi*, mentre intercetta quelli oscuri; si comprende come, essendosi accoppiata una di queste materie

con una certa qualità di vetro verde, siasi impedita interamente la trasmissione calorifica e ne sia risultato un sistema adiatermico (§. 1083). Il vetro incoloro e quello verde, che manifestano egual potere trasmittente per le irradiazioni calorifiche oscure, presentano un risultato analogo a quello ottenuto col cristallo di rocca limpido e con quello affumicato, prestandosi anche questi due mezzi egualmente alla trasmissione dei raggi oscuri (§. 1086).

1089. L'ottica offre certi mezzi colorati che trasmettono, egualmente degl'incolori, una parte determinata dello spettro prismatico; come sarebbero certi vetri rossi d'una gran purezza, che danno adito alle irradiazioni rosse dello spettro solare al par di un vetro incoloro. Si hanno pure nel calore certi mezzi, che trasmettono egualmente una parte determinata dello spettro termocroico, come si riscontra nel vetro verde precedente, il quale lascia il passaggio ai raggi oscuri al pari del vetro incoloro. Abbiamo dunque in questo caso *un fenomeno di termocrosi perfettamente identico con l'altro di colorazione luminosa ed offerto in circostanze analoghe.*

L'azione esercitata dai diversi mezzi sugli elementi luminosi, come pure la termocrsi riscontrata nei mezzi incolori e la diatermasia in quelli opachi, dimostrano nelle materie delle *azioni elettive* ora sull' una, ora sull'altra ed ora sull'insieme delle due irradiazioni, calorifica e luminosa. È appunto in questa mirabile concatenazione dei fenomeni di trasmissione, che presentano i mezzi diatermici e i mezzi diafani incolori e colorati in riguardo alle irradiazioni luminose ed oscure; è nella perfetta similitudine e nella sostituzione reciproca di forze donde derivano la colorazione visibile e la colorazione invisibile dei corpi e si argomenta d'un'origine comune alla luce ed al calorico irradiante. Rapporti così intimi fra le due trasparenze e le due colorazioni sarebbero infatti inconcepibili, se l'irradiazione calorifica non avesse un'origine comune coll'irradiazione luminosa.

1090. Per ultimo i risultati del precedente quadro (§. 1087) confermano ciò che altre sperienze ci hanno provato; cioè che il salgemma è un mezzo atermocroico, ossia che non altera la proporzione degli elementi del flusso calorifico da esso emergente. Infatti, vediamo che i vetri di diverso colore danno una trasmissione eguale tanto per l'irradiazione diretta, quanto per quella emergente dal salgemma.

Trasmettendo la selenite unitamente a raggi calorifici luminosi, un certo numero di oscuri (§. 1085), il flusso che da essa emerge transita pei vetri, secondo le proporzioni di cui questi sono dotati, di dar passaggio al calorico oscuro ed a quello luminoso.

1091. Le materie coloranti esercitano dunque un'azione sulle irradiazioni oscure come su quelle luminose. Ma in quest'azione sui raggi oscuri, tutto il calorico irradiato dalla sorgente non si presenta al mezzo colorato; giacchè sappiamo che il vetro assorbe per se stesso dei raggi oscuri (§. 1072) e il flusso emergente dal vetro nero non contiene che una parte di quelli lanciati dalla sorgente luminosa, venendo i rimanenti assorbiti. Importerebbe quindi di sperimentare l'azione delle materie coloranti direttamente sulle irradiazioni dei corpi riscaldati al di sotto dell'incandescenza. A tale fine bisognerebbe incorporare quelle materie con un mezzo capace di trasmettere i raggi oscuri, che sono assorbiti dal vetro nero, vale a dire che bisognerebbe unirle intimamente col salgemma. Questa materia però non si presta per la sua natura a ricevere una colorazione nell'interno della massa, nè ad applicarla alla superficie col fuoco, come si fa degli smalti sui vasi di terra.

Melloni volendo pure istituire qualche prova ha applicato sulla superficie del salgemma uno strato sottile e diatermico di materia colorante nel modo seguente (1). Egli si è procurato un imbuto di latta, il cui cannello aveva 1 in 2 centimetri di diametro e 5 in 6 di lunghezza. Mettendo l'imbuto capovolto in posizione verticale, ha collocato al di sotto e ad una certa distanza la fiamma d'una lucerna comune senza vetro col lucignolo alquanto allungato affine d'avere molto fumo. Si genera in tal modo una corrente di fumo uscente dal cannello ad una temperatura molta minore che allo stato nascente, e quindi non atta ad alterare la lamina di sale che si vuole affumicare. È in tal modo che Melloni copriva gradatamente una lamina polita di salgemma d'uno strato di fumo sempre più grosso. Sospendeva di tratto in tratto l'operazione per guardare a traverso la lamina annerita: si vedevano dapprima gli oggetti circostanti rischiarati dalla luce diffusa; poscia queste imagini scomparivano e si distinguevano ancora le forme dei corpi incandescendenti; le quali scomparivano alla loro volta e solo si mostrava il sole a traverso lo strato affumicato. Progredendo nell'operazione non si hanno più che strati compiutamente opachi.

Melloni ha sottoposto le lamine così preparate al calorico irradiante, ed ha trovato che esse ne trasmettevano delle proporzioni più o meno grandi secondo la qualità dell'irradiazione incidente. Egli si è assicurato che l'effetto sul termoscopio elettrico era pro-

(1) Si vegga l'opera di lui sucitata: *La termocrosi* ecc., pag. 281.

dotto dal calorico trasmesso per la lamina sotto forma irradiante e non dal riscaldamento della medesima (§. 1068). Avendo bene stabilito il passaggio immediato del calorico per le lamine affumicate, egli ottenne poscia da diverse osservazioni i risultati seguenti notati come al solito in centesimi del calorico incidente.

| LAMINE DI SALGEMMA AFFUMICATE | TRASMISSIONI | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Lucerna Locatelli | Platino incandesc. | Rame a 400° | Rame a 100° |
| Diafana . . . . . . . . . | 48 | 55 | 66 | 67 |
| Poco diafana . . . . . . . | 35 | 40 | 49 | 50 |
| Pochissimo diafana . . . . | 27 | 33 | 43 | 44 |
| Diafana alla fiamma . . . . | 21 | 25 | 33 | 35 |
| Diafana ai soli raggi solari . . | 9,3 | 14 | 25 | 27 |
| Compiutamente opaca . . . | 8 | 10 | 18 | 23 |
| Simile . . . . . . . | 5 | 5,7 | 11 | 13 |
| Simile . . . . . . | 0,5 | 1,9 | 6,3 | 9 |
| Simile . . . . . . | 0 | 0 | 3 | 6 |
| Simile . . . . . . | 0 | 0 | 1,6 | 3,5 |

Alcuni hanno opinato che la trasmissione immediata, per sottili strati di nerofumo, potesse dipendere dagli interstizi posti fra le sue particelle. A questo Melloni risponde che, se il passaggio avesse luogo per gli spazi liberi, la quantità di calore trasmesso sarebbe costante, mentre varia considerabilmente colla qualità del calorico incidente; d'altronde la trasmissione verificandosi anche per le lamine affumicate *compiutamente opache*, nelle quali non esiste alcuna soluzione di continuità, bisogna conchiudere che il calorico sotto forma irradiante attraversa realmente lo strato di nerofumo. Tutte le sperienze di questa natura provano insomma che materie opache per le irradiazioni luminose sono trasparenti

per quelle oscure, ossia sono diatermiche. Stabilito questo fatto e sciolta qualunque obbiezione che possa metterlo in dubbio, veniamo con Melloni a fare alcune considerazioni sulle misure esposte nel quadro.

1092. Il risultato di grandissima importanza, che offrono le misure osservate, si è che le irradiazioni delle sorgenti a bassa temperatura attraversano gli strati di nerofumo in maggior copia di quelle delle sorgenti a temperature elevate. Pel salgemma, che è un corpo atermocroico, quando è affumicato le trasmissioni sono più abbondanti colle irradiazioni oscure che con quelle luminose, e si hanno per conseguenza degli effetti opposti alle trasmissioni pel vetro, per l'acqua, pel cristallo di rocca e per gli altri mezzi termocroici. Le azioni di questi ultimi mezzi danno degli effetti complessi analoghi ai colori dei corpi ed alle irradiazioni luminose. Infatti, in riguardo alla luce, abbiamo veduto vetri di differenti colori, che posseggono però degli elementi comuni, per es. l'indaco e l'azzurro, diventare sempre più trasparenti lorquando si interpongono fra l'occhio corpi luminosi, nei quali le tinte azzurre sono vieppiù numerose e splendenti; mentre un vetro giallo collocato nelle medesime circostanze si comporta precisamente in maniera contraria.

La trasmissione dunque del calorico irradiante dipende per nulla dalla luce, che può avere associato, e le irradiazioni invisibili hanno una transmissibilità non inferiore a quella della luce e per corpi in cui quest'agente è intercettato.

1093. La trasmissione del calorico irradiante, a traverso corpi opachi, è di tale importanza che Melloni ha intrapreso un gran numero d'indagini coi tre corpi finora conosciuti e capaci di tale passaggio, quali sono il vetro nero, la mica nera e il nerofumo, ossia il carbone allo stato di estrema tenuità risultante dalla combustione dei corpi grassi. Egli si è servito dapprima delle irradiazioni luminose, ossia di calorico accompagnato da luce, e poscia di irradiazioni oscure o provenienti da corpi riscaldati al di sotto dell'incandescenza. Noi riporteremo i fatti principali risguardanti la trasmissione in questo caso per completare le cognizioni, che abbiamo già appreso su quest'argomento. La grossezza suscettibile alla trasmissione varia notabilmente nei tre corpi su nominati. Certe lastre di vetro della grossezza di 8 in 10 millimetri danno ancora adito a quantità assai sensibili di calorico irradiante. Le lamine di mica nera invece, della grossezza di 2 in 3 millimetri, non danno più verun passaggio valutabile di calorico, e il nerofumo depositato sul salgemma cessa d'essere permeabile alle irradiazioni calorifi-

che, lorquando ha una grossezza che, secondo Melloni, non supera un decimo di millimetro. Le lamine di vetro nero, di mica nera e di salgemma affumicato adoprati da Melloni, quantunque non avessero la grossezza indicata, erano però opache a tutto rigore di termine; giacchè, interposte fra l'occhio ed il sole il più brillante, intercettavano totalmente la vista di quell'astro. Venendo quindi presentate alle irradiazioni delle fiamme e dei corpi incandescenti, quelle lamine non davano passaggio che a calorico oscuro.

I tre corpi nominati furono ridotti al loro massimo di diatermasia e, sottoposti alle seguenti irradiazioni, diedero a Melloni i risultati che qui si riportano in centesimi del calorico incidente.

| MATERIE | GROSSEZZA | TRASMISS. CALORIFICHE | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Fiamma d'olio | Fiamma d'alcoole | Platino incadesc. |
| Salgemma affumicato . | « | 8,9 | 11,8 | 12,1 |
| Mica nera . . . . . | mill. 0,19 | 43,8 | 62,8 | 52,5 |
| Vetro nero . . . . | « 0,62 | 37,9 | 52,6 | 42,8 |

Questi rapporti di trasmissione per ogni sorgente, notando con 10 quella del salgemma, sono per le altre lamine espressi come segue:

10 : 49 : 43 per la fiamma d'olio
10 : 53 : 45 per la fiamma d'alcoole
10 : 43 : 35 pel platino incandescente.

Le trasmissioni variano passando dall'una all'altra sorgente, e le differenze non si saprebbero spiegare supponendo un'unica specie di calorico oscuro, mentre la spiegazione diventa facile adottando i principii già superiormente ammessi per altri fatti, cioè che le tre sorgenti contengono degli elementi diversi di calorico invisibile, che si presenta ai tre mezzi diatermici, Laonde le differenze

di trasmissione pei tre corpi opachi non derivano da una differenza di diatermasia, ma da un vero cangiamento di termocrosi o di *colore calorifico* analogo alla variazione di termocrosi donde risultano le differenze di trasmissione riscontrate nelle materie diafane. Le nostre sorgenti luminose irradiano dunque differenti specie di calorico oscuro, che sono più o meno trasmesse dai mezzi opachi; talchè le termocrosi dei mezzi e delle irradiazioni trasmesse non sono semplici ma composte.

La credenza dell'omogeneità delle irradiazioni calorifiche oscure era generalmente radicata negli animi, avanti che Melloni provasse il passaggio immediato ed istantaneo del calorico irradiante pei corpi opachi. Laonde, all'annunzio di quei fatti, si cercò di spiegarli supponendo semplici variazioni di quantità. Questa supposizione richiede però che le trasmissioni provino delle variazioni proporzionali ai loro propri valori passando dall'una all'altra irradiazione, e conservino per tal modo invariabili i loro reciproci rapporti d'intensità. Cambiando però questi rapporti di trasmissione colla variazione incidente, bisogna conchiudere che vi ha variazione di termocrosi nei mezzi e nei raggi oscuri, da cui sono attraversati.

1094. Per dare una prova ancor più convincente che le termocrosi, dei mezzi opachi e del calorico oscuro trasmesso, sono composte e non semplici, Melloni ha fatto emergere, dall'irradiazione luminosa della lucerna Locatelli, tre flussi oscuri d'eguale intensità mediante i tre corpi opachi precedenti, ed ha misurato le quantità di calorico trasmesso in questi tre casi per diverse specie di lamine, trasparenti od opache poco importa per la ragione che il calorico per cui si opera non racchiude il minimo vestigio di luce. Se l'irradiazione della lucerna contenesse una sola specie di calorico oscuro emergente dai tre corpi opachi, è chiaro che le lamine, per cui deve transitare, dovrebbero fornire delle trasmissioni eguali. Che se il calorico oscuro, commisto all'irradiazione della fiamma, si compone di diverse specie di raggi, ciascuno dei corpi opachi trasceglierà quelle proprie alla sua particolare termocrosi ed assorbirà le rimanenti. Laonde le tre irradiazioni emergenti, non essendo più identiche, quantunque dotate della medesima intensità, attraverseranno con diverse proporzioni una lamina termocroica data. Ed ecco su tale proposito, in centesimi del calorico incidente, i risultati ottenuti da Melloni (1).

(1) Nell'opera di lui: *La termocrosi* ecc., pag. 295.

| MATERIE INTERPOSTE | GROSSEZZA | TRASMISS. CALORIFICHE della fiam. d'olio emer. | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Dal salgemma affumicato | Dalla micanera di mill. 0,32 | Dal vetro nero di mill. 0,73 |
| Salgemma affumicato . | « | 30,2 | 11,2 | 8,3 |
| Mica nera . . . . . | mill. 0,188 | 66,7 | 75,0 | 70,0 |
| Mica incolora . . . . | « 0,338 | 65,1 | 74,8 | 76,6 |
| Vetro nero . . . . | « 0,620 | 51,8 | 60,1 | 63,4 |
| Vetro incoloro . . . | « 0,696 | 45,3 | 58,2 | 66,7 |
| La stessa specie . . . | « 5,640 | 21,7 | 12,7 | 22,0 |
| Cristallo di rocca . . | « 3,008 | 28,6 | 41,6 | 55,3 |
| Selenite . . . . . | « 0,188 | 45,4 | 36,0 | 45,0 |
| La stessa specie . . . | « 0,808 | 20,1 | 8,7 | 13,0 |
| La medesima . . . . | « 7,614 | 15,0 | 0,0 | 1,3 |
| Ambra gialla . . . . | « 6,580 | 12,0 | 0,0 | 2,7 |
| Alume . . . . . . . | « 4,700 | 10,0 | 0,0 | 0,0 |

Nessuna delle dodici lamine non trasmette la medesima quantità delle tre irradiazioni oscure emergenti. Le maggiori differenze sono fornite dalle lamine grosse, come doveva accadere (§. 1083). Allorquando si mette a confronto le quantità di calorico trasmesse da lamine della stessa materia e di differenti grossezze, si scorge una relazione meritevole d'essere notata. La prima lamina di vetro, che è di grossezza circa il settimo della lamina seguente della stessa materia, dà una trasmissione del flusso calorifico emergente dal sale affumicato, la quale è pressochè il doppio di quella transitante per la seconda lamina. Pel flusso calorifico emergente dal vetro nero le trasmissioni delle due lamine incolore medesime prendono un rapporto triplo; per quello poi emergente dalla mica nera lo stesso rapporto diventa quattro e mezzo. Le variazioni si manifestano ancor maggiori nella selenite.

1095. I flussi di calorico oscuro, emergenti dai tre corpi opachi, provenivano dall'irradiazione della fiamma d'olio: ora Melloni ha istituito lo stesso ordine d' esperienze estraendo nell' egual modo i tre flussi di calorico oscuro dalla fiamma dell' alcoole e dal platino incandescente, e facendoli transitare per le medesime dodici lamine delle grossezze su notate. I dati ch'egli ottenne si trovano qui di seguito in centesime parti come i precedentl.

| MATERIE INTERPOSTE | TRASMISSIONI CALORIFICHE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | DELLA FIAMMA D'ALC. EMERGENTE | | | DEL PLATINO INCAND. EMERGENTE | | |
| | Dal salgemma affumicato | Dalla mica nera | Dal vetro nero | Dal salgemma affumicato | Dalla mica nera | Dal vetro nero |
| Salgemma affum. | 19 | 12 | 13 | 27 | 10 | 10 |
| Mica nera . . . | 63 | 75 | 73 | 53 | 80 | 73 |
| Mica incolora . . | 63 | 75 | 73 | 40 | 75 | 77 |
| Vetro nero. . . | 50 | 54 | 64 | 27 | 67 | 70 |
| Vetro incoloro . | 40 | 46 | 58 | 25 | 66 | 43 |
| La stessa specie . | 7,5 | 5,5 | 8 | 3 | 13 | 33 |
| Cristallo di rocca. | 20 | 21 | 34 | 22 | 60 | 78 |
| Selenite . . . | 31 | 22 | 28 | 35 | 44 | 57 |
| La stessa specie . | 10 | 1,5 | 3 | 10 | 11 | 23 |
| La medes. specie. | 7 | 0 | 0 | 3 | 1,3 | 3 |
| Ambra gialla . . | 5,8 | 0 | 0 | 0,6 | 0 | 1 |
| Alume . . . . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |

Da questi risultati sul calorico oscuro, unito alle irradiazioni della fiamma d'alcoole e del platino incandescente, si traggono conseguenze consimili a quelle dedotte dal calorico oscuro com-

misto alla fiamma d'olio. Si ha con ciò un'altra prova dell'eterogeneità dei raggi oscuri calorifici mescolati con quelli luminosi di ciascuna sorgente. Anzi vi sono dei casi in cui quest'eterogeneità apparisce ancor più sagliente che nel primo quadro. Le due lamine di vetro incoloro, per es., danno delle trasmissioni, le quali sono crescenti per la lamina sottile passando dal primo al secondo flusso, e per la lamina grossa sono invece nello stesso passaggio decrescenti. Questa specie d'invertimento si spiega col riflettere che i diversi elementi di calorico oscuro, estratti dall'irradiazione della fiamma d'alcoole mediante quei corpi opachi, possano essere più o meno rapidamente estinti nel passaggio lungo lo stesso mezzo. Nulla si oppone infatti che il flusso più assorbibile sia nel medesimo tempo il più intenso e non penetri al principio i primi strati in maggior proporzione del flusso meno intenso e meno assorbibile. Laonde, provando questo un assorbimento minore a misura che vieppiù s'interna nel mezzo, si concepisce facilmente che ad una certa profondità potrà raggiungere e superare benanche in intensità il flusso ad estinzione rapida ed invertere in tal modo l'ordine dei rapporti di trasmissione.

1096. Le due lastre di vetro, l'una sottile e l'altra molto più grossa mostrano che la rapidità dell'assorbimento succede secondo le qualità del calorico oscuro che transita per esse. Considerando i flussi oscuri, contenuti nelle irradiazioni della fiamma d'olio e del platino incandescente e separati dai raggi luminosi mediante il salgemma affumicato ed il vetro nero da cui emergono, si vede che ora è il calorico oscuro emergente dal salgemma affumicato che diminuisce più rapidamente, ed ora quello del vetro nero, nell'essere le due qualità trasmesse per le lastre di vetro incoloro di diverse grossezze. Per meglio comprendere le nostre deduzioni, riportiamo dai precedenti quadri qui riunite le misure di trasmissione per le due lastre di vetro.

### CALORICO OSCURO COMMISTO ALL'IRRADIAZIONE

DELLA FIAMMA AD OLIO ED EMERGENTE

| | | Dal salgemma affumicato | | Dal vetro nero |
|---|---|---|---|---|
| TRASMISSIONI PER | Vetro sottile . . . | 45,3. | — | 66,7 |
| | « grosso . . . | 21,7. | — | 22,0 |
| | DEL PLATINO INCANDESCENTE ED EMERGENTE COME SOPRA | | | |
| | « sottile . . . | 25,0. | — | 43,0 |
| | « grosso . . . | 3,0. | — | 33,0 |

Altre prove dell'esistenza di differenti qualità di calorico oscuro si hanno dai quadri mentovati. L'alume, per es., trasmette alcuni dei raggi emergenti dal salgemma affumicato, che riceve l'irradiazione della fiamma d'olio, ed assorbe in totalità quelli emergenti dal vetro nero su cui cade la stessa irradiazione. Lo stesso alume si diporta in una maniera opposta col calorico oscuro tratto, per mezzo degli stessi corpi opachi, dall'irradiazione del platino incandescente. Parimenti la seconda lamina di selenite dà le trasmissioni 20,1 e 13,0 del calorico oscuro tratto rispettivamente dall'irradiazione della fiamma d'olio mediante il salgemma affumicato e il vetro nero, e le trasmissioni 10 e 23 del calorico oscuro tratto nelle eguali maniere dall' irradiazione del platino incandescente. La conseguenza generale, risultante da tutte le sperienze riferite, si è che *ogni irradiazione d'una sorgente luminosa contiene diverse qualità di calorico oscuro*; e che *si danno dei mezzi opachi e dei corpi diafani incolori i quali sono diatermici e termocroici.*

1097. Melloni ha cercato di determinare il rapporto delle quantità di raggi luminosi ed oscuri esistenti in una data irradiazione. Sappiamo che il salgemma limpido ed incoloro conserva, al flusso calorifico emergente, la stessa proporzione negli elementi luminosi ed oscuri del flusso incidente (§. 1079). D'altra parte l'alume, egualmente limpido ed incoloro come il salgemma, trasmette i soli elementi luminosi del flusso incidente privato sensibilmente d'ogni termocrosi propria all'irradiazione diretta (§. 1072). Sappiamo altresì che ogni specie di calorico irradiante prova, sulle superficie dei mezzi diatermici, delle riflessioni pressochè eguali (§. 1082). Posti questi fatti è chiaro che il *calorico luminoso* d'una data irradiazione *sarà rappresentato dalla trasmissione per l'alume, e il calorico oscuro dalla differenza delle due trasmissioni pel salgemma e per l'alume.* Ora, dell'irradiazione della lucerna Locatelli ad olio, il salgemma trasmette 0,92 e l'alume 0,09 (§. 1072); da cui si deduce che l'irradiazione della fiamma d'olio contiene 0,09 di calorico luminoso e 0,92—0,09=0,83 di calorico oscuro. Nelle sperienze superiormente citate (§. 1077) Melloni ha trovato che, dell'irradiazione del platino incandescente, l'alume trasmetteva 0,018 o prossimamente 0,02, e di quella della fiamma d'alcoole 0,009, o prossimamente 0,01; mentre il salgemma ne trasmette sempre 0,92. Dunque i raggi luminosi delle due irradiazioni sono rispettivamente rappresentati da 0,02 e 0,01 e quelli oscuri da 0,90 e 0,91. Rappresentando quindi con 100 la somma dei raggi luminosi ed oscuri appar-

tenenti a ciascuna delle tre sorgenti, si ottengono i rapporti seguenti.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nell'irradiazione della fiamma d'olio | — raggi luminosi | 10 | oscuri | 90. |
| — | del platino incandescente | » | 2 | » | 98. |
| — | della fiamma d'alcoole | » | 1 | » | 99. |

Queste valutazioni pei raggi oscuri sono piuttosto in meno; essendosi supposto che tutto il calorico, trasmesso dall'alume, sia di raggi luminosi, quando non si ha la certezza che qualche raggio invisibile attraversi quella materia. La superiorità dei raggi invisibili sui visibili, nelle nostre sorgenti luminose, è dunque una verità, per cui nelle materie diafane il dominio della termocrosi è molto più esteso di quello della colorazione. La fiamma della legna in combustione contiene pure una grande quantità di raggi calorifici oscuri, che nell'esperienza (§. 1066) erano arrestati dal vetro (§. 1072), mentre l'imagine luminosa non aveva perduto del suo splendore.

Conforme a quanto si è notato (§.753), si apprende la fallacia dei fotometri fondati sulla supposizione che in ogni irradiazione luminosa i raggi calorifici siano proporzionali alla facoltà illuminante. Si potrebbe dimostrare egualmente in quanto all'azione chimica di ogni irradiazione, da cui dipende qualche strumento proposto per la misura della luce.

1098. Il calorico oscuro irradiato dai corpi al di sotto dell'incandescenza, è pur esso composto di elementi diversi come quello di cui sono accompagnate le irradiazioni luminose? I risultati delle sperienze riferite ai §§. 1072 e 1091 mettono fuor di dubbio che le irradiazioni delle sorgenti oscure non sono identiche. Si trovano altresì parecchi casi, nei quali l'irradiazione della sorgente a più bassa temperatura è totalmente intercettata, mentre quella dell'altra più elevata passa ancora in quantità sensibile a traverso i corpi. Vi ha inoltre qualche caso in cui la trasmissione dei raggi derivati dalla sorgente meno calda è più abbondante di quelli provenienti dall'altra più calda. Queste differenze potrebbero dipendere tanto dall'essere ciascuna delle due irradiazioni composta d'una qualità particolare di calorico, quanto dall'essere i raggi elementari, componenti l'uno di questi flussi calorifici, differenti in qualità e in quantità dai raggi che costituiscono l'altra irradiazione. Bisogna dunque decidere se le irradiazioni sono semplici o composte: al quale uopo servono i risultati delle sperienze, istituite colla sorgente a 400° sotto il n° I e con quella a 100° sotto il n° II, espressi in centesimi del calorico incidente.

| NOMI DEI CORPI | GROSSEZZA IN MILLIMETRI | | TRASMISS. DELLA SORGENTE A 400° SOTTO IL N° I ED A 100° SOTTO IL II | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | DELL'IRRADIAZIONE DIRETTA | DELL'IRRAD. EMERGENTE | | | |
| | | | | Dal solfo gr. m. 7,286 | Dallo spato fluor. 3,892 | Dal salgem. affumicato | Dalla mica gr. 0,0398 |
| Solfo . . . . . | 6,893 | I | 43,1 | 70,2 | 59,2 | 47,4 | 61,4 |
| | | II | 39,9 | 72,4 | 78,5 | 50,1 | 66,3 |
| Spato fluoro . . | 4,812 | I | 31,7 | 48,8 | 51,5 | 26,8 | 61,8 |
| | | II | 26,4 | 49,8 | 66,7 | 30,3 | 63,7 |
| Mica bianca. . . | 0,029 | I | 45,3 | 58,7 | 70,1 | 39,5 | 81,6 |
| | | II | 31,2 | 57,5 | 81,3 | 40,0 | 72,5 |
| La medesima . . | 0,255 | I | 15,5 | 21,2 | 27,0 | 13,1 | 32,5 |
| | | II | 11,2 | 27,6 | 37,6 | 15,2 | 31,3 |
| Mica nera . . . | 0,029 | I | 40,2 | 57,4 | 63,6 | 34,0 | 72,4 |
| | | II | 31,0 | 58,7 | 76,4 | 40,6 | 65,2 |
| La medesima . . | 0,108 | I | 27,1 | 41,3 | 49,2 | 26,1 | 56,5 |
| | | II | 18,9 | 45,2 | 55,2 | 28,3 | 47,6 |
| Selenite . . . . | 0,199 | I | 12,5 | 18,8 | 18,7 | 10,2 | 20,7 |
| | | II | 10,5 | 23,3 | 27,0 | 15,1 | 34,3 |
| La medesima . . | 0.358 | I | 8,3 | 12,3 | 13,0 | 6,3 | 14,4 |
| | | II | 5,8 | 19,2 | 25,2 | 12,6 | 22,4 |
| La medesima . . | 0,712 | I | 3,2 | 4,9 | 6,3 | 2,8 | 5,5 |
| | | II | 5,0 | 13,4 | 11,9 | 9,5 | 11,8 |
| Cristallo di rocca . | 0,619 | I | 12,3 | 14,7 | 16,4 | 6,9 | 31,2 |
| | | II | 6,8 | 22,7 | 27,6 | 7,2 | 34,4 |
| Il medesimo . . | 3,157 | I | 6,9 | 9,5 | 10,5 | 6,0 | 14,6 |
| | | II | 4.0 | 17,0 | 15,1 | 12,0 | 11,3 |
| Salgem. affumic. . | ---- | I | 29,7 | 30,3 | 24,0 | 28,9 | 25,1 |
| | | II | 32,2 | 34,6 | 36,3 | 46,2 | 35,7 |
| Vetro nero . . . | 0,596 | I | 10,3 | 10,8 | 15,9 | 8,5 | 21,2 |
| | | II | 5,6 | 18,9 | 22,5 | 11,7 | 21,5 |
| Il medesimo . . | 1,914 | I | 4,9 | 6,2 | 7,6 | 5,0 | 11,4 |
| | | II | 2,5 | 15,2 | 19,0 | 10,3 | 11,2 |
| Vetro bianco . . | 0,845 | I | 7,2 | 8.9 | 11,6 | 4,8 | 17,3 |
| | | II | 5,1 | 18,5 | 19,2 | 9,3 | 14,4 |

Dai risultati qui riferiti si rende ancora più palese la differenza di qualità dei flussi calorifici delle due sorgenti al di sotto dell'incandescenza, i quali, nell'emergere dalle quattro materie avanti d'essere trasmessi dalla variata serie di lamine, formano altrettanti flussi speciali oltre quello diretto. Infatti l'irradiazione della prima sorgente, che *emerge* dal solfo, dallo spato fluoro e dalla mica, dà per le 15 lamine delle trasmissioni maggiori di quella *diretta* per le lamine medesime; mentre le trasmissioni diventano minori coi flussi emergenti dal salgemma affumicato. Nell'irradiazione della sorgente a 100° si manifestano degli aumenti ancor maggiori di trasmissione per le 15 lamine coi tre flussi particolari emergenti dalle tre materie nominate; mentre al contrario non ha luogo la diminuzione nelle trasmissioni per le 15 lamine del flusso emergente dal salgemma. Tutte queste variazioni non avrebbero luogo se le irradiazioni delle due sorgenti oscure si componessero di raggi calorifici d'una sola specie. Si noti che, se si prendessero in considerazione soltanto gli ultimi risultati, le differenze osservate si spiegherebbero assai bene con semplici cambiamenti di proporzione fra i medesimi elementi calorifici. I risultati però, esposti in altro quadro (§. 1072), mostrano che certi corpi sono adiatermici per l'irradiazione della sorgente a 100°, mentre danno adito ancora a quantità notabili di calorico irradiante dalla sorgente a 400°: bisogna quindi ammettere che gli elementi calorifici di quest'ultima, trasmessi per quei corpi, siano mancanti nell'irradiazione dell'altra; e che per conseguenza il fenomeno derivi, non solo da una variazione d'intensità o *quantità*, ma eziandio da una variazione di *qualità* negli elementi calorifici costituenti le irradiazioni delle due sorgenti. Conseguenze somiglianti si traggono dalle osservazioni istituite sulle irradiazioni delle sorgenti a temperature più elevate, insegnandoci esse che il numero dei mezzi solidi e liquidi, suscettibili di trasmettere il calorico, è moltissimo grande per le irradiazioni della fiamma, un poco minore per quelle del platino incandescente ed ancor minore per le altre del rame riscaldato al di sotto dell'incandescenza.

Da tutto questo si deduce che *le irradiazioni delle nostre sorgenti sono tutte eterogenee, vale a dire composte di parecchie specie di raggi elementari, ed il numero delle specie proprie a ciascuna di quelle irradiazioni aumenta colla temperatura della sorgente.*

1099. Non si deve confondere l'ultima parte della precedente proposizione colla conseguenza che erroneamente Delaroche aveva

dedotto *sulla trasmissibilità crescente del calorico irradiante dalle sorgenti a misura che la temperatura ne aumenta* (§. 1067). Imperocchè un'irradiazione può essere più ricca d'un'altra in varietà di raggi elementari, e tuttavolta contenere in minor proporzione delle specie trasmissibili; talchè la minor temperatura non porta con sè d'assoluta necessità una minore trasmissione per qualunque mezzo. Si è veduto appunto che le irradiazioni, che provengono da sorgenti a basse temperature, transitano pel salgemma affumicato in maggior proporzione delle irradiazioni provenienti da sorgenti a temperature più elevate (§. 1091).

In ogni maniera ora si comprende per qual modo la proporzione del calorico, trasmesso pel medesimo corpo, subisce un aumento quando si avvicina all'incandescenza, e come parecchie materie siano soltanto permeabili alle sorgenti di temperatura elevata. L'intensità e la varietà delle trasmissioni calorifiche aumentano in generale col grado di temperatura della sorgente, perchè *le quantità e le qualità dei raggi elementari diventano sempre più numerose a misura che la temperatura stessa si eleva.*

1100. Concordano con queste deduzioni le osservazioni di Draper sulla colorazione d'un filo di platino, riscaldato sempre più e reso luminoso in una camera oscura mediante il transito per esso della corrente elettrica di crescente intensità. Questo filo, veduto attraverso un prisma, presenta uno spettro, il quale dapprima è assai corto e composto di sole tinte rosse; in seguito si allunga sviluppando successivamente il giallo, il verde, l'azzurro e il violaceo, e diventa sempre più brillante (1).

A misura dunque che aumenta la temperatura, la luce diventa più intensa e coll'accrescimento d'intensità cresce la varietà dei raggi elementari della sorgente. Il fenomeno con ciò riesce più appariscente per tutta la serie dei raggi calorifici, che accompagnano i raggi dello spettro, potendo esso agire sull'organo della vista.

1101. Le irradiazioni delle nostre due sorgenti oscure differiscono per la qualità dei loro elementi: si domanda se ha luogo egualmente per qualunque altra e se i corpi, riscaldati soltanto di alcuni gradi al di sopra della temperatura ordinaria, irradiano delle qualità di calore differenti di quelle, che partono dai medesimi corpi riscaldati a 100°? L'accrescimento d'energia dell'irradiazione, d'un corpo di

(1) *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine* ecc. fascicolo di maggio 1847.

cui s'innalza la temperatura, può essere concepita in due maniere distinte: cioè coll'*aumento di forza dei raggi esistenti e coll'aggiunta di nuove specie di raggi.* Si è veduto che la comparsa di nuovi raggi ha indubiamente luogo, allorquando la temperatura della sorgente passa da 100 a 400 gradi; ma non si può dire che lo stesso fenomeno si riproduca da zero a 100 gradi; talchè tutte le irradiazioni di sorgenti a temperature al disotto della temperatura dell'acqua bollente, potrebbero avere delle composizioni sensibilmente eguali e non differire fra loro che per l'intensità.

Sembra che la cosa sia così: giacchè, sottoponendo le irradiazioni dei corpi riscaldati al di sotto di 100 gradi, a prove analitiche simili a quelle i cui risultati si sono superiormente riferiti (§. 1072), non si scorgono differenze valutabili fra le loro proprietà di trasmissione. Ma a queste lievi temperature bisogna avvicinare di molto il corpo riscaldato alla lamina, per cui i raggi calorifici, che partono da una sorgente un poco voluminosa e si discostano dalla normale del centro, cadono molto obliqui sulla lamina medesima e sotto una certa incidenza buona porzione è riflessa, per cui vengono meno gli effetti della trasmissione. Melloni ha studiato questa nuova causa d'errore ed ha trovato che l'inclinazione dei raggi colla normale deve sempre essere minore di 20°, perchè questi non siano riflessi, e non venga alterata la quantità di calorico trasmesso (1). Sotto una grande obliquità i raggi calorifici devono transitare per maggior spazio del corpo diatermico la qual cosa produce maggior assorbimento, che è un'altra causa d'alterazione della quantita di calorico trasmesso. Da qui si scorge che le indagini, intorno alla trasmissione del calorico proveniente da sorgenti al di sotto di 100°, sono molto delicate e richiedono, oltre un termoscopio elettrico dei più squisiti, anche molta avvedutezza nello sperimentatore per evitare quelle cause d'errori.

Melloni, indotto in errore da tali cause, ha creduto nelle sue prime indagini, che la mica, ridotta in lamine sottili, trasmettesse il calorico proveniente dai corpi riscaldati al di sotto di 100°, in proporzioni tanto più grandi quanto più la temperatura del corpo irradiante si avvicinasse al limite della temperatura dell'acqua bollente. Ripetendo poscia più tardi con ogni possibile precauzione le sperienze sulla mica e sulle altre lamine adoperate nelle indagini dell'ultimo quadro (§. 1098), egli non ottenne più alcuna differenza valutabile fra le trasmissioni di quelle differenti specie calore, ed ha dovuto conchiu-

(1) Si vegga l'opera di lui: *La termocrosi* ecc., pag. 315.

dere *non esservi sino al presente veruna ragione per ammettere delle differenze di composizione fra i flussi di calorico irradiante dai corpi, le cui temperature sono eguali od inferiori a* 100°. Knoblauch ha intrapreso somiglianti indagini ed è giunto alla stessa conseguenza di Melloni.

1102. Esperimenti istituiti con simili precauzioni hanno mostrato che eguali effetti si riscontrano nelle irradiazioni di sorgenti a temperature comprese fra 100 e 150 o 160 gradi. In queste indagini è indifferente che la superficie irradiante sia formata d'un metallo qualunque, polito, verniciato, ossidato od annerito; oppure ch'essa sia di legno, di cuoio o di marmo: talchè questi corpi, elevati alla medesima temperatura, danno dei flussi calorifici, che attraversano nella medesima proporzione le lamine permeabili al calorico irradiante dalle sorgenti a basse temperature, e sembrano così indicare, come nel caso d'un sol corpo portato ad una qualunque temperatura inferiore a 160°, la costanza degli elementi calorifici e delle loro reciproche proporzioni nei flussi irradianti da quelle diverse sorgenti. Tuttavolta Melloni conchiude di non potere con certezza affermare che la cosa sia veramente così: 1° perchè l'eguaglianza di trasmissione per le medesime lamine non è un segno certo dell'eguale composizione di due irradiazioni calorifiche (§. 1084); 2° perche le lamine assai sottili, che si è costretto d'impiegare nell'analisi del calorico irradiante dalle sorgenti a basse temperature, hanno perduto la maggior parte della loro facoltà termocroica (§. 1080); e la diatermasia delle grosse lamine di spato fluoro e di solfo, per ogni specie di calorico irradiante, prova che la termocrosi di questi due mezzi è assai debole (§. 1080), e poco capace di scoprire le differenze specifiche esistenti fra i raggi elementari, che compongono i flussi calorifici sottoposti all'esperienza. Ne segue dunque che, al di sotto di 160°, si rinverrebbero forse alcune ineguaglianze fra le irradiazioni dei differenti corpi elevati alla medesima temperatura o fra le irradiazioni dello stesso corpo portato a differenti temperature, se questi diversi flussi di calorico potessero essere analizzati con mezzi più efficaci di quelli sino ad ora impiegati.

Comunque sia la cosa non bisogna però dimenticare che l'*eterogeneità della termocrosi, vale a dire l'esistenza di parecchi elementi nei flussi calorifici dei corpi riscaldati al disotto di* 160 *gradi, è perfettamente dimostrata dall'esperienza*. Questi elementi, per la qualità e la proporzione, differiscono da quelli, che compongono l'irradiazione delle sorgenti a 400°; e tutti questi raggi elementari non po-

trebbero essere confusi coll'insieme delle specie d'irradiazioni oscure delle fiamme e dei metalli incandescenti.

1103. Il calorico irradiante, non solo è trasmesso pei corpi diatermici, ma ne è anche rifratto al pari della luce (§. 770). Si collochi verticalmente sul sostegno O un prisma di salgemma (fig. 244) e ad una certa distanza si disponga una delle nostre quattro sorgenti (§. 1064): esplorata la direzione che il fascio calorifico prende nel transitare pel prisma col riceverlo sulla faccia della pila del termoscopio, si vedrà che esso devia dal suo cammino rettilineo (§.1059) più o meno secondo l'angolo rifrangente del prisma e secondo il grado d'incidenza sulla faccia del medesimo, e ciò al pari della luce (§.780), di cui sembra che segua le stesse leggi (§. 770) e che l'indice di rifrazione in generale non ne sia molto differente. Sembra che il calorico irradiante oscuro sia suscettibile della doppia rifrazione (1) al pari della luce (§. 832), quantunque a queste deduzioni siano contrarie le sperienze di Melloni e di Knoblauch (§. 1076).

La rifrangibilità del calorico si è già veduta nei raggi oscuri, che si trovano congiunti a quelli dello spettro solare (§. 1078). Nell'analisi del calore solare col prisma di salgemma si ha, oltre lo spettro normale dei raggi visibili, lo *spettro calorifico normale* o dei raggi invisibili. Essendo il vetro una materia termocroica, si comprende che, a pari circostanze, le lenti di salgemma saranno più proprie delle comuni per rifrangere nel loro fuoco i raggi calorifici. Con ciò si spiegano le anomalie riscontrate da alcuni nel concentrare con lenti convesse di vetro le irradiazioni dello spettro solare (2).

La rifrangibilità del calorico ha per conseguenza la riflessione totale, che esso subisce alla seconda superficie d'un prisma di salgemma quando vi penetra sotto un certo angolo, come si verifica coll'esperienza al pari dell'egual fenomeno riscontrato nella luce (§. 773). Da qui si scorge il bisogno di tener conto dell'angolo d'incidenza per valutare le trasmissioni calorifiche pei corpi diatermici (§. 1101).

1104. Il calorico irradiante si polarizza come la luce (§. 840); e Melloni ha mostrato questa nuova proprietà adoprando cumuli di lamine di mica. Imaginiamo, a ciascuno degli estremi del tubo della fig. 115, collocato sopra il rispettivo sostegno un cumulo composto

(1) *Physikalisches Wörterbuch*, ecc., t. x, pag. 605.

(2) Intorno alla trasmissibilità dei raggi calorifici contenuti nello spettro si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III, pag. 280.

di otto in dieci sottilissime lamine di mica coi loro assi di polarizzazione paralleli. Da un lato del tubo si dispone la fonte calorifica, i cui raggi sono raccolti da una lente convessa di salgemma e trasmessi paralleli al primo cumulo di laminette di mica, per passare nel cumulo situato all'estremità opposta del tubo e giungere sulla faccia della pila del termoscopio. L'inclinazione delle lamine coll'asse del tubo si può variare e disporre sotto l'angolo più conveniente. Il piano d'incidenza del secondo cumulo di mica è suscettibile, senza mutare l'obliquità delle sue lamine, d'essere condotto parallelo o perpendicolare al piano d'incidenza del primo: queste due posizioni danno delle trasmissioni assai disuguali e provano la polarizzazione del calorico irradiante per mezzo della mica (1).

Forbes istituì delle sperienze consimili e confermò, mediante la tormalina, la polarizzazione del calorico irradiante (2). Lo stesso fecero De la Prevostaye e Desains col mezzo dei prismi bifrangenti (3). Biot e Melloni trovarono altresì che la proprietà del cristallo di rocca, di far ruotare il piano di polarizzazione della luce (§. 872), si riscontra eziandio pel calorico, imprimendo al piano dei raggi di questo delle deviazioni nel medesimo verso della luce (4). Alcuni liquidi, che sono dotati di tale proprietà rotatoria per la luce (§. 848), la manifestano egualmente pel calorico, come riconobbero De la Prevostaye e Desains nell'essenza di trementina e nel siroppo di zucchero (5).

1105. Dopo aver parlato del calorico irradiante trasmesso, veniamo a rintracciare le circostanze e le leggi di quello assorbito ed emesso dai corpi, e le relazioni che hanno con l'altro riflesso. Osserviamo dapprima che la facoltà di emettere il calorico sotto forma irradiante è propria non solo delle sorgenti accompagnate da luce e delle oscure al disopra della temperatura dell'acqua bollente, come sono quelle (§. 1164), di cui ci siamo quasi sempre servito nello studiare i fenomeni della riflessione e della trasmissione; ma l'irradiazione calorifica si riscontra anche nei corpi a temperature inferiori a 100° (§§. 1077 e 1101). La proprietà irradiante è propria delle materie a qualunque temperatura: non solo dell'acqua bollente, ma dell'acqua e d'ogni

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. LV, pag. 375.
(2) *Edinb. philos. Trans.*, t. XIII, 1835 e 1836.
(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III, pag. 225.
(4) *Annales de chimie* ecc., terza serie, t. XI.
(5) *Annali di fisica* ecc., seconda serie, t. III, pag. 288.

altro corpo alla temperatura ordinaria, del ghiaccio, del mercurio congelato, insomma di tutti i corpi dotati di qualsiasi grado termometrico. La sola condizione necessaria all'ottenimento del fenomeno è che l'aria ambiente abbia la temperatura inferiore a quella del corpo, di cui si sottopone alla prova la facoltà irradiante. S'istituisce l'esperimento cogli specchi coniugati (fig. 240) nella maniera altrove descritta (§. 1062). Allorquando il corpo irradiante ha una temperatura molto bassa, potrebbe accadere che i termactinometri a dilatazione non dessero segni della presenza del calorico irradiante e concentrato nel fuoco dello specchio; in tal caso bisogna ricorrere ai termactinometri elettrici più o meno squisiti (§. 1058).

Ogni corpo è dotato della facoltà d'assorbire il calorico irradiante. I termactinometri adoprati nelle precedenti sperienze si riscaldavano appunto per tale assorbimento, ed altronde tutti i corpi si riscaldano sotto l'azione del raggi calorifici del sole assumendo una temperatura superiore a quella dell'aria ambiente. Non è dunque l'aria, che per contatto comunica il calorico a quei corpi, ma questi si riscaldano in virtù dell'irradiazione.

I poteri dei corpi, per assorbire ed emettere il calorico irradiante, variano secondo la natura e lo stato dei corpi medesimi e conservano un certo rapporto con quello riflesso. Il raziocinio ci fa di già accorti che *il poter riflettente è complementario dell'assorbente pei corpi adiatermici*; imperocchè la somma, delle quantità di calorico assorbito e riflesso, deve sempre riprodurre perfettamente tutto il calorico incidente. Dunque l'uno deve crescere quando l'altro scema; e se la facoltà riflettente è minima, quella assorbente risulterà massima. Scheele, nelle sue sperienze sul calorico irradiante (§. 1066), ha trovato che, essendo lo specchio lucido e ben terso, il metallo di cui era formato non si riscaldava sensibilmente e conseguiva il massimo effetto per riflessione; al contrario, tingendone la superficie di nerofumo, ben presto prendeva una temperatura molto elevata per assorbimento e il calore per riflessione risultava minimo. Il potere assorbente eguaglia in generale quello emittente, e determinato l'uno si conosce anche l'altro. Vedremo quanto prima che, coprendo la faccia della pila del termoscopio d'una data materia, sotto l'azione d'una data sorgente si ha un'indicazione che ha un certo rapporto con quella che si ottiene essendo la faccia stessa coperta di nerofumo. In tal modo si ha il rapporto fra i poteri assorbenti del nerofumo e della data materia. Ora si applichi uno strato di nerofumo sopra una delle facce laterali del vaso cubico di metallo irradiante calorico e sopra

una delle contigue uno strato della materia precedente; rivolgendo alternativamente l'una o l'altra faccia del vaso verso la pila nel suo stato ordinario, si hanno delle indicazioni, che misurano le facoltà emittenti dei due corpi e costituiscono un rapporto eguale a quello ottenuto per assorbimento dei medesimi. Ne conseguita dunque che *il potere assorbente eguaglia quello emittente*. I tre poteri, assorbente, emittente e riflettente, furono sperimentati per le diverse materie in riguardo anche a diverse specie di calorico irradiante, e sappiamo che basta determinare uno di essi per dedurne gli altri due. Le indagini s'istituirono coi metodi, che andiamo a dichiarare.

1106. Parecchi fisici nel trascorso secolo studiarono il potere dei corpi per assorbire, emettere e riflettere il calorico. Leslie si serviva d'uno specchio concavo d'ottone ben terso e polito, nel cui fuoco collocava la bolla del suo termometro differenziale (§. 1003). Un vaso cubico di metallo, di cui copriva le facce con diverse materie ed anche con vernici, era riempiuto d'acqua mantenuta ad una data temperatura. Portava il vaso ad un metro circa di distanza dallo specchio ed osservava l'effetto prodotto sul termometro, rivolgendone verso il medesimo ora l'una ed ora l'altra faccia. Dagli effetti definitivi, prodotti dalle irradiazioni di ciascuna di quelle facce, deduceva la facoltà emittente delle materie irradianti il calorico. Il potere assorbente era dallo stesso fisico determinato coprendo successivamente lo specchio di diverse materie ed osservando pure l'effetto prodotto sul termometro differenziale. Quanto più tenue era quest'effetto d'altrettanto riusciva grande quello del calorico riflesso.

Allo stesso intento Rumford adoprava un vaso cilindrico di metallo, la cui superficie rivestiva successivamente di diverse materie. Al foro centrale del coperchio era assicurato un termometro, che col suo bulbo giungeva sino al mezzo della profondità del vaso e segnava la temperatura dell'acqua di cui si riempiva. Essendo questa temperatura superiore od inferiore a quella dell'ambiente, osservava i tempi che il liquido impiegava nelle diverse circostanze a perdere od acquistare un certo numero di gradi di calore, e deduceva da essi la facoltà emittente od assorbente delle materie, che rivestivano la superficie esterna della parete del vaso.

1107. Altri fisici sperimentarono sui tre poteri dei corpi pel calorico irradiante con metodi, che si possono adoperare soltanto in alcuni casi particolari. Franklin stendeva sulla neve o sul ghiaccio, durante un bel giorno, delle striscie d'eguale grandezza di pannolano o di tela tinte ciascuna di materie di differente colore delle

altre. Osservava, dopo il tempo conveniente, la quantità di neve o di ghiaccio fusa dai raggi solari assorbiti da ciascuna striscia o il relativo sprofondamento di queste nello strato agghiacciato, e ne deduceva i rapporti dei poteri assorbenti.

Davy sostituì alla neve uno strato formato d'un composto fusibile a 30 gradi centesimali fatto di cera ed olio, e dalla fusione del medesimo, prodotta dal calorico assorbito da laminette metalliche spalmate di materie di diverso colore, deduceva i rapporti relativi dei poteri di ciascuna laminetta.

Watzon, per dimostrare che il caloramento influiva sul potere assorbente dei corpi pel calorico (dei raggi solari), copriva il bulbo di parecchi termometri con vernici di diverse tinte. Landriani, all'oggetto di stabilire la scala dei colori prismatici in rapporto all'assorbimento ed alla riflessione pel calorico irradiante, inviluppava il bulbo dei termometri con nastri tinti di quei colori. Esposti i termometri così preparati all'azione solare ha trovato che le tinte della materia non corrispondevano per l'assorbimento all'egual ordine dei colori dello spettro. Ha ripetuto la stessa sperienza con termometri a spirito di vino tinto in ciascuno di differente colore. Riscaldava eziandio gli stessi termometri al medesimo grado di calore e notava i tempi, che impiegavano ad abbassarsi dell'egual numero di gradi: da questi tempi egli deduceva il potere emittente.

1108. Dopo l'invenzione del termomoltiplicatore fatta dai due fisici italiani Melloni e Nobili, i precedenti metodi non valgono a rigore nella determinazione dei poteri dei corpi per assorbire, emettere e riflettere il calorico. I risultati, che se ne ottennero, hanno poco valore in confronto di quelli più esatti e più attendibili, nell'attuale stato della scienza, che si ebbero adoprando il su citato strumento. Infatti si comprende facilmente che le misure, conseguite coi termactinometri a dilatazione, devono andare soggette ad errori rilevanti per la termocrosi del vetro o per la proprietà di cui è dotato di arrestare alcuni elementi delle irradiazioni calorifiche. D'altronde nella deduzione delle quantità di calorico assorbito od emesso, dai tempi di riscaldamento o di raffreddamento si suppone una proporzionalità semplice che non esiste.

È vero che i gradi del termoscopio elettrico non sono paragonabili con quelli del termometro comune. Ma nello studio del calorico irradiante si devono cercare i rapporti degli effetti, che nelle diverse circostanze si producono, per cui lo strumento basta che sia comparabile nella sua graduazione, non essendo necessario che abbia dei rapporti

esatti col comune termometro. In uno dei seguenti capitoli apprenderemo come la scala del termactinometro elettrico si riduca comparabile nei diversi suoi gradi, essendo d'altronde questa comparabilità la conseguenza d'un'esperienza altrove riferita (§. 1061); e come dal *deviamento impulsivo* dell'indice si deduca il *deviamento definitivo*, e così essere in grado d'operare con maggiore speditezza. È dunque per la sua *grandissima sensibilità* in confronto del termometro comune; per la *proprietà atermocroica* del corpo destinato a ricevere le irradiazioni calorifiche; e per la *comparabilità dei gradi* della sua scala, che il termoscopio elettrico si presta in una maniera più propria e più esatta a stabilire le misure degli effetti e quindi le leggi del calorico irradiante.

1109. Interessa di rintracciare se le diverse materie siano o no dotate dell'egual potere emissivo per la medesima sorgente calorifica. A tal fine si copra una delle facce del vaso cubico ora dell'una ora dell'altra materia, e si riempisca d'acqua mantenuta all'ebollizione: se col termoscopio elettrico si esplorino successivamente le irradiazioni di ciascuna delle medesime, si hanno i rapporti emissivi seguenti rappresentando con 100 il potere del nerofumo.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Nerofumo . . . . . | 100 | Inchiostro della China . . | 85 |
| Carb. di piombo (biacca). | 100 | Ghiaccio . . . . . . | 85 |
| Carta da scrivere . . . | 98 | Gommalacca . . . . . | 72 |
| Vetro comune . . . . | 90 | Metalli . . . . . . . | 12 |

Colla medesima sorgente dunque *il potere emissivo pel calorico varia al variare la natura delle materie,* essendo minimo nei metalli e massimo nel nerofumo e nel carbonato di piombo, quando però la sorgente medesima non superi l'ebollizione dell'acqua; e lo stesso si dica del potere assorbente. Siccome poi il poter per riflettere è complementario di quello per assorbire il calorico (§. 1105); così diremo che i *corpi in generale riflettono diversamente il calorico* e che *i metalli sono i migliori e il nerofumo il peggiore riflettore pel calorico.*

1110. I rapporti precedenti non si conservano i medesimi per le diverse irradiazioni calorifiche, e i risultati ottenuti per una data sorgente non si devono credere valevoli per qualunque specie di calorico. Infatti, dopo la scoperta della termocrosi, tale generalizzazione non è più ammissibile, essendosi dimostrato con accurate sperienze che *il potere assorbente dei corpi varia in generale secondo le diverse qualità del calorico incidente.* Melloni sopra una faccia della pila termoscopica ha disteso uno strato di creta macinata con poca acqua

gommata, e sull'opposta ha applicato uno strato possibilmente eguale di nerofumo preparato nella stessa maniera (1). L'apparecchio termoscopico, disposto coi due lati dipinti di materie differenti, si porta in presenza d'una sorgente, e si osservano le deviazioni dell'ago galvanometrico pel riscaldamento, che provano successivamente le due facce esposte all'irradiazione calorifica, avvertendo d'invertere ogni volta le comunicazioni col galvanometro per mezzo dei fili affine di avere sempre le deviazioni dell'ago nello stesso verso. Si ripete l'esperienza successivamente con diverse fonti calorifiche, portandole a più o meno distanza dal termoscopio per conseguire sempre l'egual effetto sopra una delle facce, per es. la nera. Le deviazioni medie di venti osservazioni fatte da Melloni colle quattro sorgenti note (§.1064) sono espresse come segue:

| | *Pel nerofumo* | | *Per la creta* |
|---|---|---|---|
| Colla lucerna Locatelli . . . | 100 | — | 56,6 |
| Col platino incandescente. . . | 100 | — | 63,3 |
| Col rame a 400 gradi . . . . | 100 | — | 83,8 |
| Col rame a 100 gradi . . . . | 100 | — | 96,3 |

Donde s'impara che il potere assorbente della creta e del nerofumo, molto differenti per le irradiazioni della fiamma, si avvicinano gradatamente per le sorgenti intermedie e diventano quasi eguali per le sorgenti, la cui temperatura non supera 100 gradi. In quest'ultimo caso si è rinvenuto eziandio che il potere assorbente della creta e di altre materie di proprietà analoghe, eguaglia quello del nerofumo, per la qual cosa si richiede che i lati della pila termoscopica siano nelle medesime condizioni di sensibilità, ciò che non ha quasi mai luogo. Infatti nelle sperienze del paragrafo precedente il carbonato di piombo, per la sorgente a 100 gradi, ha manifestato l'egual potere emissivo e quindi assorbente di quello del nerofumo. D'altronde si applichino alcuni strati di nerofumo sopra una delle facce laterali del vaso cubico di metallo e sopra una delle contigue alcuni strati di creta, e si riempia il medesimo d'acqua calda: se si rivolge alternativamente l'una o l'altra faccia del vaso verso la pila nel suo stato ordinario, si hanno le medesime indicazioni allo strumento, il che prova niuna differenza d'irradiazione nel nerofumo e nella creta.

Melloni ha anche sperimentato in quest'altra maniera: si è provveduto di sottili dischi di cartone o di metallo, che ha annerito da

(1) Si vegga l'opera su citata: *La termocrosi* ecc., pag. 95

un lato col nerofumo e dall'opposto ha coperto di varie materie. Ciascuno di questi dischi era successivamente posto contro l'apertura della pila del termoscopio, avendo cura di tenere costantemente rivolta verso lo strumento la superficie annerita: si fa cadere sulla superficie opposta l'irradiazione calorifica e si nota la deviazione che essa produce sul galvanometro nell'assorbimento per la superficie di ciascuna delle diverse materie e nell'emissione costante per quella tinta di nero. I risultamenti che egli ottenne con tal metodo, posto in pratica per differenti materie e qualità d'irradiazioni calorifiche, sono esposti nel seguente quadro:

| CORPI SOTTOPOSTI ALL'IRRADIAZIONE | POTERI ASSORBENTI OTTENUTI DALLE IRRADIAZIONI | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Della lucerna Locatelli | Del platino incandesc. | Del rame a 400° | Del rame a 100° | Della lucerna con tubo di vetro |
| Nerofumo. . . . . | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Carb. di piombo (biacca) | 53 | 56 | 89 | 100 | 24 |
| Colla di pesce . . . | 52 | 54 | 64 | 91 | 45 |
| Inchiostro della China . | 96 | 95 | 87 | 85 | 100 |
| Gommalacca. . . . . | 43 | 47 | 70 | 72 | 80 |
| Metalli. . . . . . | 14 | 13,5 | 13 | 13 | 17 |

I metalli assorbiscono dunque pressochè nell'egual grado qualsiasi specie di calorico, come pure il nerofumo; mentre gli altri corpi presentano delle notabilissime differenze. Il carbonato di piombo per es. sottoposto successivamente alle irradiazioni della quarta e della quinta fonte calorifica disposte a tale distanza da cadere direttamente sul termoscopio con eguale energia, assorbe delle quantità di calorico molto differenti, essendo l'assorbimento per l'irradiazione del rame a 100 gradi più del quadruplo di quello dell'irradiazione della lucerna ad olio con caminetto di vetro. L'assorbimento della stessa materia per le irradiazioni delle altre specie di

calorico differisce pure di molto, e così si dica della gommalacca e dei diversi corpi notati nel quadro, meno il nerofumo ed i metalli. Il nerofumo presenta il massimo assorbimento per tutte le diverse specie di calorico, mentre i metalli ne offrono il minimo: in quello pertanto è minima la riflessione, anzi vedremo che può ritenersi sensibilmente nulla; in questi al contrario la riflessione è massima. E siccome l'assorbimento nel primo e la riflessione nei secondi succedono senza cambiare la proporzione degli elementi calorifici costituenti ciascuna specie d'irradiazione; così il *nerofumo è un corpo melanotermico e i metalli sono al contrario leucotermici* (§. 1065).

1111. L'assorbimento del nerofumo per le diverse specie di calorico, è desso realmente invariabile? Non potrebbe forse cambiare sotto l'azione delle diverse irradiazioni calorifiche e conservare nullostante la sua superiorità sui poteri assorbenti delle altre materie? Lo scioglimento di questi dubbi è della maggiore importanza per la costruzione dei termactinometri che si coprono di nerofumo, e per la dottrina del calorico basata sul principio che le irradiazioni, raccolte sul termoscopio, diano degli effetti proporzionali alla loro energia qualunque sia la specie della sorgente. Melloni si è assicurato con diversi sperimenti che *il nerofumo è dotato di potere assorbente costante per qualsiasi specie d'irradiazione calorifica* (1). Le sperienze, istituite col secondo dei metodi del precedente paragrafo, conducono intanto al risultato che *l'assorbimento del nerofumo pel calorico è sempre proporzionale all'assorbimento dei metalli qualunque sia la specie dei raggi calorifici.* Ma per dedurre da questa proporzionalità la costanza d'assorbimento del nerofumo, bisognerebbe provare costante il potere assorbente dei metalli. Questi corpi sono soggetti a variazioni dipendenti da cause non così facili ad essere definite e valutate per ritrarne la conseguenza della costanza d'assorbimento del nerofumo.

A tal fine si prenda con Melloni un sottile disco di legno o di cartone interamente coperto di nerofumo e si collochi verticalmente ed isolato nella posizione D sopra un piede per sottoporlo alla sola azione dell'irradiazione di qualsiasi sorgente calorifica (fig. 245). Il calorico, che cade sulla sua superficie anteriore, sarà compiutamente assorbito oppure si dividerà in due porzioni, l'una delle quali verrà rimandata e l'altra assorbita. Quest'ultima porzione riscalderà grada-

(1) Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, prima serie, t. II, pag 225, come pure l'opera *La termocrosi* ecc. pag. 95 e seguenti.

tamente il disco, il quale incomincerà ad irradiare per ogni verso il calorico acquistato e l'irradiazione si accrescerà con l'elevazione della temperatura: si giungerà infine al punto in cui le quantità di calorico, acquistato dal disco pel flusso calorifico della sorgente e perduto per emissione, riusciranno eguali e si faranno equilibrio producendo così una temperatura costante nel medesimo. Le irradiazioni delle due superficie del disco non saranno però eguali, avendo luogo nella posteriore in causa del solo riscaldamento, mentre nell'anteriore si comporrà di questo calorico e della porzione rigettata dalla stessa. Osservisi inoltre che la superficie anteriore, ricevendo per la prima il flusso calorifico dalla sorgente, prenderà una temperatura più elevata di quella posteriore, ed anche per questa sola cagione darà un'irradiazione maggiore dell'altra.

Per valutare queste irradiazioni si disponga il piede della pila P del termoscopio sull'alidada CA mobile intorno al centro C, da cui sorge verticalmente il disco D. La pila si trova alla stessa altezza del disco e, facendo girare l'alidada, può essere condotta successivamente nelle posizioni P, P′ sotto le eguali inclinazioni ACM, A′CM a rincontro della superficie posteriore ed anteriore del disco D. S'impedisce l'influenza del flusso calorifico, che può cadere direttamente sulla pila nelle due posizioni, con uno scrimaglio metallico convenientemente disposto. I fili $p$, $n$ si prolungano sino al galvanometro, col quale mettono in comunicazione la pila. Rivolgendo in tal maniera lo strumento a ricevere ora l'irradiazione della superficie posteriore del disco D ed ora l'anteriore, si trova che queste irradiazioni conservano sempre il medesimo rapporto qualunque sia la specie di calorico diretto sul disco D coperto interamente di nerofumo. Se ne ritrae quindi la conseguenza che il *nerofumo assorbe colla stessa intensità qualunque specie d'irradiazione calorifica.*

Per la riuscita dell'esperienza bisogna usare molta avvedutezza: giacchè la minima agitazione dell'aria e variazione di temperatura, e la pressione atmosferica influiscono sul riscaldamento del disco e per conseguenza sul rapporto delle irradiazioni. Il riscaldamento d'altronde è molto debole e le irradiazioni, che ne risultano, richieggono per la loro valutazione degli strumenti dotati della maggiore squisitezza; ed è per ciò che s'impiegano dei termoscopii molto sensibili, adattando ben anche alla pila dei riflettori conici per concentrare su di essa la maggiore quantità di calorico irradiato dal disco.

Ma, come ben riflette Melloni, la costanza del rapporto fra le irradiazioni del disco è soggetta ad una grave obbiezione. Infatti queste

irradiazioni devono essere assorbite dallo strato di nerofumo, che copre la faccia del termoscopio destinato a valutarle: non potrebbe quindi succedere che la ripercussione del calorico diretto sul disco fosse compiutamente velata da un fenomeno somigliante riprodotto sulla superficie della pila? Affine di dimostrare che sul disco annerito non vi è calorico disperso, e che se ve ne fosse non proverebbe una dispersione totale sulla faccia del termoscopio e cambierebbe colla qualità dell'irradiazione incidente, producendo così una variazione nel rapporto delle intensità calorifiche manifestate dalle due superficie; Melloni ha posto alla prova un disco, imbianchito con l'impasto di creta, ed ha trovato che in questo vi ha cambiamento nel rapporto al variare la specie della sorgente, e ben anche quando si misuri l'irradiazione della superficie anteriore colla faccia della pila egualmente imbianchita. Le prove sui due dischi vennero istituite colle irradiazioni del rame a 100°, del rame a 400°, del platino incandescente, della lucerna Locatelli, e di quelle di questa passate per una lente di vetro. Le variazioni nel rapporto si manifestarono per le diverse specie d'irradiazioni sperimentando col disco bianco, mentre col disco coperto di nerofumo il rapporto si conservò costante. Le irradiazioni della superficie posteriore tanto del disco nero quanto del bianco risultarono eguali, sia che si esplorassero colla faccia annerita, sia con quella imbianchita della pila. Al contrario le irradiazioni della superficie bianca anteriore, esplorate con l'una e l'altra faccia della pila, diedero degli effetti ora sensibilmente eguali ed ora disuguali secondo la natura dei raggi incidenti. La creta dunque che ricopre questo disco assorbe il flusso calorifico in un rapporto che varia colla qualità della sorgente. Le irradiazioni della superficie anteriore del disco nero, esplorate pure con l'una e l'altra faccia della pila, danno sempre l'eguale risultato qualunque sia la natura della sorgente. Dobbiamo quindi conchiudere che i raggi calorifici di qualunque provenienza non patiscono veruna ripercussione valutabile sulla superficie annerita, vale a dire che *qualunque specie di calorico irradiante sono egualmente assorbite dal nerofumo.* Questa proprietà è di grande importanza per lo studio del calorico irradiante; giacchè per essa si può valutare, coi termactinometri coperti di nerofumo, l'intensità dei raggi di calorico indipendentemente dalle loro qualità specifiche, e gli strumenti destinati allo studio del calorico irradiante acquistano una grande superiorità su quelli della luce.

La grande attitudine del nerofumo ad assorbire qualunque irradiazione non solo ha suggerito l'idea di coprire di questa materia

qualunque termoscopio per produrre sul medesimo il massimo effetto del flusso che si misura, ma anche di difendere il termactinometro dai raggi oscuri che emettono gli oggetti circostanti. A tale scopo il termometro ad aria, per servire ad osservazioni sul calorico irradiante, oltre avere il bulbo annerito, lo ha difeso d'inviluppo metallico lucido come rappresenta la figura 246.

1112. I poteri assorbenti del bianco dei muri, della carta, della neve e di altri corpi variano del pari come quelli della biacca e della creta (§. 1110) secondo la specie del calorico incidente. Essi si manifestano molto energici per le irradiazioni oscure e deboli per quelle luminose, come si verifica coll'esperienza. Queste cognizioni rendono ragione di parecchi fatti, che non si sapevano spiegare quando si credeva che l'azione calorifica dipendesse unicamente dalla proprietà luminosa delle irradiazioni.

In un bel giorno sereno, a piccola distanza dal suolo coperto di neve, si sospenda con alcuni fili orizzontalmente un'assicella di legno sottile dipinta di nero, e si mantenga in tale posizione per alcune ore prossime al meriggio. I raggi solari riscalderanno l'assicella, che irradierà calorico oscuro sulla neve sottoposta, la quale, quantunque corrispondente all'ombra, passerà più presto allo stato liquido di quella che riceve direttamente i raggi solari. La neve assorbe più facilmente l'irradiazione oscura di quella luminosa, come avviene col carbonato di piombo (§. 1110). È per l'egual ragione che la neve si scioglie più presto sotto l'ombra degli alberi che all'irradiazione diretta nell'aperta campagna, ed è in quei luoghi che prima degli altri il terreno si scopre per la liquefazione della neve.

1113. Rumford e Leslie, sperimentando coi metodi su descritti (§. 1106), trovarono che il potere emittente ed assorbente d'una superficie metallica si accresce coll'applicazione d'un primo strato di colla di pesce o di vernice, e seguita a crescere coll'applicazione di un secondo, d'un terzo, d'un quarto ecc. strato. Melloni ha ripigliato questi sperimenti servendosi del termoscopio elettrico e della vernice composta di succino, sandracca, oppoponace, gomma-gotta ed alcoole (1). Applicando questa vernice leggermente con un pennello, ha veduto che l'azione calorifica aumentava gradatamente, secondo una serie decrescente, sino al sedicesimo strato, al di là del quale incominciava a diminuire. Calcolando la grossezza dello strato di vernice, pel quale si otteneva il massimo effetto, lo valutò di circa mil-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXII, pag. 113.

limetri 0,044; mentre coll'applicazione di foglie d'oro di diversa grossezza ebbe il maggiore effetto dalla più sottile della grossezza di millimetri 0,002, che forse aveva oltrepassata la massima necessaria all'azione più energica. Una porzione del calorico irradiato dall'oro deriva dunque da un limite 22 volte almeno più vicino alla superficie degli ultimi punti irradianti nell'interno della vernice; e non dobbiamo quindi maravigliarci se il calore emesso dalla vernice sia tanto superiore a quello del metallo. All'appoggio di quest'osservazione Melloni respinge l'ipotesi ammessa dai dotti geometri Fourier e Poisson nelle loro opere sulla teorica matematica del calore per dar ragione del fenomeno. Essi credono che provenga da una riflessione subita dai raggi calorifici alla superficie nell'atto che tendono d'uscirne, e ciò come succede dei raggi luminosi sulla seconda superficie d'un mezzo diafano, che attraversano (§. 773). Dobbiamo però confessare che i risultati delle sperienze di Melloni non valgono a rigettare l'ipotesi della riflessione alla superficie d'uscita pei raggi calorifici, non dimostrando essi altro che per ogni punto irradiante quella superficie sarebbe nei due casi della vernice e dell'oro a differenti profondità.

1114. A Leslie è dovuta un'altra sperienza, che fu erroneamente interpretata e troppo generalizzata dai fisici, e quindi applicata anche ad alcuni casi che sono smentiti dal fatto. Leslie lasciava una delle facce del suo cubo metallico ben liscia e polita e rendeva più o meno scabre le altre collo smeriglio, colla lima o col punteruolo. Sperimentando le irradiazioni calorifiche di ciascuna faccia, trovava che la lamina levigata dava la minima emissione e nelle altre l'irradiazione risultava tanto più grande quanto più erano scabre e striate. Da qui si trasse la conseguenza generale che il potere emissivo di un dato corpo aumenta quando si rende scabra la sua superficie da tersa e lucida che era, ed all'inverso. Questo principio così generalizzato si è ripetuto per molti anni e si ripete tuttora in molti libri di fisica italiani e stranieri; quantunque sia stato incontrovertibilmente smentito da parecchie sperienze istituite da Melloni (1).

Le scabrosità procacciate al metallo del cubo di Leslie aumentano realmente la facoltà irradiante. Ma la causa non è dovuta a quelle ineguaglianze in se medesime, ma bensì alle particolari circostanze delle lamine metalliche adoprate dall'autore; giacchè si danno dei

(1) Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. II, pag. 5, e t. XVIII, pag. 145; come pure *La termocrosi* ecc. pag. 83 nella *Nota*.

casi, nei quali le scabrosità, invece di aumentare l'irradiazione la diminuiscono. Infatti si formi il vaso con lamine d'argento gettato, che si lasciano raffreddare con lentezza, affine d'impedire che il metallo incrudisca; e poscia si conducano al polimento col semplice carbone dolce imbevuto d'olio, rimovendo così ogni causa di cambiamento nella densità tanto dal lato d'una solidificazione troppo repentina quanto dal lato della compressione della pomice, dello smeriglio e simili materie che s'impiegano d'ordinario al levigamento dei metalli. Verificate in queste lamine l'eguale potere emittente, si solchi una di esse con un punteruolo d'acciaio durissimo, e si sottoponga nuovamente il vaso all'esperienza. Si trova che *nessun aumento d'emissione calorifica ha acquistato la superficie solcata, ma che anzi essa ha sofferto una lieve diminuzione nella facoltà irradiante.* Due lamine d'argento furono lavorate al martello ed altre due ottenute colla fusione lasciate lentamente raffreddare e dolcemente polite. Melloni rigò e coperse di strie la superficie esteriore d'una lamina di ciascuna coppia col mezzo d'un diamante smussato. Le quattro lamine, formanti il vaso e riscaldate dall'acqua bollente, vennero successivamente rivolte verso il termoscopio elettrico e diedero per risultato

| | | *Polita* | *Striata* |
|---|---|---|---|
| Lastra. . . . | lavorata . . . . | 10°. | 18°. |
| | gettata . . . . | 13,7 | 11,3. |

Coll'argento battuto l'irradiazione più energica si manifestò nella lamina striata, ma coll'argento gettato *l'irradiazione si mostrò minore alla superficie scabra che a quella polita.* Eguali risultati si ottennero coll'oro e con altri corpi suscettibili d'acquistare nel riconsolidamento una maggiore durezza. Sperimentando invece con vasi a pareti d'avorio, di marmo, di gagate e di altre materie consimili, che per la loro natura non sono suscettibili come i metalli di riscaldamento; si ha che le solcature e le scabrosità scolpite alla superficie non aumentano la facoltà irradiante. Le solcature, fatte in un metallo battuto e condensato alla sua superficie, levano porzione delle particelle della crosta più densa e più elastica della parete interna, e mettono a nudo per conseguenza il metallo meno denso posto al disotto, che è dotato di maggior facoltà emittente. Nella lamina precedente condensata al martello l'irradiazione è espressa da 10, e nell'altra egualmente polita ottenuta colla fusione da 13,7, risultati conformi al principio dichiarato. Conchiuderemo dunque che *un corpo, la cui densità non può essere alterata dalle solcature, dà eguale irradiazione tanto*

*che sia lasciato liscio quanto che venga coperto di strie alla superficie.*

De la Prevostaye e Desains hanno sperimentato il potere emittente di qualche metallo e principalmente dell'argento (1). Essi avrebbero trovato che il platino tirato al laminatoio ha per poter emittente 10,74 detto 100 quello del nerofumo, che lo stesso brunito ha 9,09. L'argento a smorto chimicamente depositato sul rame ha dato 5,37, e lo stesso brunito 2,10. L'argento tirato al laminatoio 3,94, lo stesso brunito 2,38. Questi risultati proverebbero che la brunitura diminuisce il potere emittente; ma in questa operazione si aumenta e non si scema la densità; per cui il principio non è contraddetto dai medesimi.

1115. Da ciò si ricava che, per costruire degli specchi ustori e dei buoni riflettori pel calorico, bisognerà tirarli al martello e farli di metallo battuto piuttosto che gettato. De la Prévostaye e Desains sperimentarono anche la riflessione del calorico su foglie di metallo applicate ad una superficie, sopra strati depositati col processo elettro-chimico, e su metalli levigati più o meno morbidamente ed anche battuti senza praticarvi dei solchi e delle strie (2), per cui i loro risultati non entrano nella quistione in discorso, cui hanno condotto le sperienze di Leslie. Le variazioni ch'essi conseguirono nella riflessione del calorico non distruggono il principio che le solcature in se stesse non hanno veruna influenza diretta sull'emissione calorifica. Il potere riflettore varia in generale dall'uno all'altro metallo per diverse circostanze, fra le quali si annoverano quelle che abbiamo qui notate. L'argento, a parità di circostanze, sembra che sia il più atto a riflettere il calorico. Sotto l'incidenza di 50°, questo metallo in grosse lamine e in foglie distese sopra lastra di vetro presenta dei poteri riflettori che stanno come 97 a 73 (3); la facoltà riflettente dei metalli in genere risulta di 87 secondo le sperienze di Melloni, e sotto l'incidenza zero (§. 1110).

Il potere riflettore dei metalli, secondo i nominati fisici, non sembra cambiare con l'incidenza di angoli inferiori a 70 gradi. Quando si è giunto a questo punto, si ha una diminuzione, la quale diventa assai sensibile a 75 in 85 gradi (4). Il potere riflettore del vetro pel calorico aumenta assai rapidamente con l'incidenza come succede per la luce (§. 755). Con ispecchi d'acciaio e d'argento la quantità di ca-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 154.

(2) *Annali* suddetti, t. XXVIII, pag. 226.

(3) Si veggano gli *Annali* suddetti allo stesso volum. pag. 20.

(4) Luogo citato nella precedente nota.

lorico riflesso è superiore a quella della luce; in generale però tanto l'uno che l'altro agente aumentano nella quantità riflessa sino ad un certo grado d'incidenza, al di là del quale per grandi angoli la quantità di calorico riflesso diventa minore come quella dalla luce (§.755).

1116. Alcuni hanno sostenuto che tutti i corpi ridotti in polvere posseggono il medesimo potere emittente. Questa proposizione non può in verun modo essere presa nel senso generale: imperocchè l'argento, trasformato coi mezzi chimici in polvere fina per quanto è possibile, dà delle irradiazioni sempre minori di quella del nerofumo. I liquidi al contrario, le materie terree ed organiche manifestano un potere emissivo sensibilmente eguale a quello del nerofumo. Qualunque sia dunque lo stato d'aggregazione dei corpi, bisogna limitare la proposizione ad un certo numero di metalli, la quale rientra per tal modo nel principio precedente e prende un significato differente da quello che le si è voluto dare.

I metalli manifestano un potere emissivo maggiore allorquando sono applicati sulle facce irradianti del cubo allo stato di precipitati chimici. Ma Melloni osserva che, perdendo con ciò il loro stato d'aggregazione, le particelle metalliche diventano necessariamente meno dense verso la superficie. D'altra parte i metalli in polvere esercitano sull'aria atmosferica, sui gas e sull'umidità un assorbimento molto più grande che sotto la forma di lamine. Gli effetti quindi, ottenuti in questi casi come in quelli del precedente paragrafo, derivano dalla rarefazione degli strati superficiali e dalla formazione d'un'atmosfera gasiforme condensata all'intorno delle molecole metalliche.

Da tutto quanto si è esposto conseguita che lo stato di divisione, di polimento o di scabrosità non ha influenza diretta sul potere emittente; e i cambiamenti d'irradiazione, che si osservano in un corpo, traggono origine dalle variazioni di densità o di qualità comunicate ai suoi strati superficiali.

1117. È invalsa comunemente l'opinione, e si ripete in quasi tutti i libri di fisica che i diversi colori influiscano sulla facoltà assorbente dei corpi indistintamente per qualunque irradiazione calorifica. Questa proposizione va ristretta del pari entro i suo giusti confini e condotta alla sua causa originaria. Osserviamo dapprima che la faccia della pila del termoscopio, destinata a ricevere l'irradiazione calorifica non superiore all'ebollizione dell'acqua, manifesta a questo strumento eguale indicazione tanto che sia tinta di nerofumo, quanto di biacca e di altre materie dotate della più grande bianchezza (§. 1111). Ma per le irradiazioni luminose, come sono quelle della

lucerna Locatelli e del platino incandescente, l'assorbimento della biacca diventa molto minore; e se i raggi oscuri della lucerna ad olio s'intercettano col caminetto di vetro, l'assorbimento vien ancor meno e si riduce al quarto (§. 1110). In quanto ai colori propriamente detti, osserviamo altresì che i corpi riflettono i raggi di luce omologhi al loro colore, mentre assorbiscono gli altri pei quali sono riscaldati; d'altronde i raggi calorifici oscuri non si contengono nelle sorgenti luminose in ragione della loro facoltà illuminante (§§. 1078 e 1097), e non si ha alcuna norma per giudicare di quali raggi si compone ogni fascio luminoso. Ne conseguita dunque che dal vero colore del corpo non si può giudicare in un modo determinato della sua minore o maggiore facoltà assorbente.

In generale però è ben determinato che il nero, assorbendo tutti i raggi luminosi (§. 896), aumenta il riscaldamento dei corpi, e che a pari circostanze si riscaldano di più quelli che pel loro colore assorbono i raggi luminosi dotati di maggior calore. Così è dei colori violaceo ed indaco i quali assorbono i raggi rossi ed aranciati, che sono i più calorifici. È appunto per questo che Landriani non ha trovato alcuna relazione fra i gradi di riscaldamento e le tinte dei colori prismatici (§. 1107). Del resto i colori propriamente detti non hanno un'influenza ben definita sul riscaldamento dei corpi prodotto dalle irradiazioni calorifiche provenienti da sorgenti al di sotto dell'ebollizione dell'acqua. Si sono infatti veduti dei corpi bianchi riscaldarsi egualmente dei corpi coperti di nerofumo sotto l'azione di sorgenti oscure (§. 1110).

1118. Quali relazioni hanno i poteri assorbente, emittente e riflettente con altre proprietà fisiche dei corpi? Da alcune esperienze istituite da Nobili e Melloni si verrebbe a questa conseguenza che, *a pari circostanze nel colore e nello stato della superficie, un corpo è tanto più dotato di potere assorbente quanto è minore la sua conducibilità* (1). Essi infatti hanno preso delle stoffe bianche di cotone, di seta, di lana, di canapa e di lino esattamente eguali nella grossezza dei fili, nel tessuto e nell'aspetto. I cinque tessuti furono applicati con gomma sopra altrettanti dischi, e dopo essere stati egualmente esposti per alcuni istanti al sole, erano presentati in coppie l'uno alla faccia della pila e l'altro a quella opposta. Ciascun disco lancia sulla faccia corrispondente il calorico acquistato, e l'indice galvanometrico devia

(1) *Memorie ed osservazioni di Nobili.* Firenze 1834, t. I. pag. 195 e *Bibliotheque universelle* di Ginevra, 1831, t. XLIV. pag. 225.

dal lato ove l'irradiazione è più grande. Per averne la controprova, si cangino i posti rispettivi ai dischi e si osservi se l'indice devia in opposto verso. Operando in tal maniera Nobili e Melloni ottennero l'ordine seguente nella facoltà assorbente: *seta, lana, cotone, lino,* e *canapa,* che è appunto l'ordine inverso delle loro conducibilità.

Esperimentarono nell'egual maniera con alcuni metalli, ai quali procuravano di dare l'egual politura alla superficie assorbente, e con cui ridotti in lamine eguali coprivano parecchi dischi. La scala di conducibilità dei metalli è come segue: *rame, argento, oro, acciaio, ferro, stagno e piombo, e il loro potere assorbente risultò rovesciando precisamente l'ordine della loro conducibilità.*

I legni, che sono più cattivi conduttori dei minerali, diedero maggior potere assorbente di questi. Il confronto veniva fatto con minerali che avevano un aspetto somigliante a quello dei legni. Il piombo, paragonato con una pietra di aspetto analogo e di cui è più conduttore pel calorico, mostrò minor potere assorbente di essa.

Sospettarono i due fisici italiani che un tal rapporto inverso, fra i poteri *assorbente* e *conduttore*, non fosse che apparente e derivasse dalla resistenza più o meno grande, che il calorico prova a penetrare nei corpi; talchè in quelli meno conduttori, accumulandosi maggiormente sulla superficie esposta, producesse anche maggiore effetto sul termoscopio elettrico. Ma trovarono che, sperimentando le superficie posteriori dei dischi e quelle direttamente esposte al'assorbimento dei raggi solari, i risultamenti erano eguali, per cui conchiusero che la legge annunziata non è apparente.

1119. L'intensità dell'emissione per un dato verso cambia coll'inclinazione della superficie irradiante, e si potrebbe dimostrare con alcune considerazioni geometriche che, al pari della facoltà rischiarante della luce (§. 743), *essa è proporzionale al seno dell'angolo che i raggi fanno colla superficie medesima*, oppure al coseno dell'angolo dei raggi stessi colla normale. La quantità di calorico, che emette la superficie obliqua ai raggi, eguaglia quella che cadrebbe perpendicolarmente sulla proiezione della superficie stessa. Prendendo quindi la superficie irradiante d'una certa grandezza e disponendo parallelamente ad essa uno scrimaglio munito d'un foro; se la prima si dispone sotto diverse inclinazioni col secondo, dovrà passare pel foro sempre l'egual quantità di calorico e produrre l'egual effetto. È all'appoggio di questo principio che la legge, così importante per la dottrina matematica del calorico irradiante, si dimostra anche coll'esperienza. Si abbia il solito cubo pieno d'acqua bollente, e si col-

lochi in modo che il centro della superficie irradiante si trovi sul prolungamento dell'asse della pila. S'interponga alla pila ed alla faccia del cubo un diaframma metallico munito d'un foro di diametro minore, il cui centro corrisponda all'asse. Disposto così l'apparato, il termoscopio indica costantemente lo stesso grado tanto che la faccia irradiante si trovi perpendicolare quanto comunque obliqua all'asse della pila.

De la Prevostaye e Desains opinano che questa legge dell'emissione non possa essere presentata nella sua generalità, ed allo scopo di verificare le loro congetture istituirono alcune sperienze con un vaso parallelepipedo di rame di cent. 35 di lunghezza, 16 di larghezza e 26 di altezza, che riempivano d'olio alla temperatura di 120 in 180 gradi centesimali (1). Il fascio di raggi calorifici era limitato con due scrimagli muniti d'aperture un poco allungate nella direzione verticale. Essi sottoposero alla prova diverse materie, che emettevano il calorico applicato esternamente alla parete del vaso, e sotto l'inclinazione di 0 gradi sino agli 80. Ecco i risultati delle loro sperienze:

POTERE EMITT. DI DIVERSE MATERIE SOTTO INCLIN. VARIABILI

| Inclinazione | Nerofumo immed. appl. | Vetro | Biacca applic. con l'essenza | Ocra applicata con l'essenza | Nerofum. app. con l'essenza |
|---|---|---|---|---|---|
| 0°. | 100 | 90,00 | 100,0 | 100,0 | 100 |
| 60 | « | 83,60 | 94,2 | « | « |
| 70 | 100 | 75,01 | 83,9 | 91,2 | « |
| 75 | « | 63,30 | « | « | « |
| 80 | 100 | 54,44 | 63,9 | 82,3 | 76 |

Il potere emittente del nerofumo immediatamente applicato osserva la nominata legge, ma unito all'essenza di trementina devia dalla

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 275.

medesima; come pure se ne discostano più o meno anche le altre materie.

1120. Si è veduto nell'ottica che si dà la riflessione regolare o speculare e la riflessione irregolare: per la seconda si ha una luce diffusa per ogni verso e riescono visibili i corpi (§. 755). Nella termologia si distingue del pari la riflessione dalla diffusione, essendo per quest'ultima il calorico irradiante rimandato e disperso per ogni verso dei corpi. Siccome per la riflessione irregolare o per la diffusione della luce i corpi non solo riescono in generale visibili, ma tramandano anche all'occhio soltanto alcuni degli elementi luminosi ed appariscono di questo o quell'altro colore (§. 896); così nella diffusione del calorico si riverberano per ogni verso alcune specie di raggi, venendo gli altri, come colla luce, assorbiti. Questo poter diffusivo pel calorico irradiante è stato studiato da Melloni tanto nei corpi adiatermici che nei diatermici, e noi riporteremo dalle sue Memorie le notizie più interessanti (1).

Le materie opache ed adiatermiche, ricevendo un flusso composto di luce e calorico, rinviano per diffusione porzione dell'uno e dell'altro agente ed assorbono il restante. Gli effetti della diffusione si manifestano rispettivamente all'occhio ed al termactinometro, ma quelli dell'assorbimento differiscono fra loro. Infatti, levando il fuoco irradiante, tutti i suddetti corpi rimangono più o meno caldi e conservano del calorico durante un tempo notabile; mentre d'altra parte essi ricadono immediatamente nello stato primitivo d'oscurità senza conservare il minimo indizio di luce. È vero però che il diamante e qualche altro corpo, dopo essere stati esposti all'irradiazione solare, spandono luce nell'oscurità per alcuni istanti (§. 882). Questa luce è però così debole e dura per un tempo così corto e non aumenta col prolungare l'esposizione, che alcuni supposero una trasformazione di luce in calorico, il quale appunto tanto più si accumula quanto più dura l'esposizione del corpo. Argomentando nell'egual maniera di questa supposta *trasformazione di luce in calorico*, si dovrebbe ammettere l'altra *di calorico in luce* pei due mezzi, che separatamente sono diatermici e trasparenti, ed accoppiati diventano adiatermici rimanendo ancora trasparenti (§. 1083).

Melloni ha dimostrato l'azione diffusiva variabile, esercitata da una superficie bianca sugli elementi calorifici di diverse fonti, in con-

(1) Si veggano le due Memorie di Melloni negli *Annali di fisica* più volte citati, serie prima, t. II, pag. 225-256 e t. III, pag. 5-15.

fronto dell'assorbimento costante del nerofumo per ogni specie di calorico. Egli si è servito dello stesso apparato (fig. 245), col quale ha istituito le sperienze per provare la costanza d'assorbimento di quest'ultima materia, ed ha seguito lo stesso metodo coi due dischi di cartone (§. 1111). L'uno di questi era interamente coperto di nerofumo, e l'altro annerito sulla superficie posteriore ed imbianchito su quella anteriore. Sopra ogni disco s'istituivano due serie d'osservazioni, l'una sull'irradiazione della superficie posteriore e l'altra su quella anteriore pei flussi calorifici del rame a 400°, del platino incandescente, della lucerna Locatelli e del calorico della stessa lucerna emergente dal vetro. Ogni volta che si osservava l'irradiazione della superficie posteriore, si avvicinava o si allontanava da essa più o meno la sorgente per avere al galvanometro la deviazione di circa 12 gradi, e passare poscia all'osservazione della superficie anteriore. Nel disco annerito da ambedue le parti, l'eccedenza d'irradiazione della superficie anteriore era prodotta dal maggiore riscaldamento che prendeva naturalmente la superficie medesima; mentre l'eccedenza osservata nella superficie bianca dell'altro disco risultava da questo maggiore riscaldamento e dalla diffusione del calorico d'ogni specie di sorgente. Il cangiamento di diffusione per le diverse qualità di calorico deve dunque portare una variazione nel rapporto; ed è appunto ciò che è confermato dall'esperienza. E siccome sulle facce annerite dei dischi non vi ha diffusione, e siccome la faccia bianca di uno di essi è formata di materia che non dà luogo nè a riflessione nè a trasmissione immediata; così l'eccedenza di calorico osservata sul disco bianco in confronto del nero dipende dalla diffusione.

Egli ha raccolto altresì i raggi della lucerna Locatelli dirigendoli lievemente divergenti, per mezzo d'una lente di vetro, sulla superficie bianca del disco. La pila termoscopica, che si trovava difesa dall'azione diretta della lucerna per mezzo dello scrimaglio metallico, era disposta in modo da ricevere il calorico diffuso dalla superficie bianca. Per sottrarla ai raggi provenienti dal riscaldamento del disco, ha interposto fra questo e la pila una lastra di vetro. I raggi debolissimi dovuti al riscaldamento del disco sono assorbiti dal vetro e non producono sul termoscopio effetto sensibile. Se ne è assicurato rivolgendo verso la sorgente la superficie coperta di nerofumo, il quale per non essere dotato di potere diffusivo, non produceva sul termoscopio effetto valutabile in virtù del solo calorico di riscaldamento. Ma alloraquando si portava la faccia bianca del disco a ricevere il flusso calorifico della lucerna, l'indice dello strumento era vivamente

rimosso dalla sua posizione e segnava parecchi gradi di deviazione. In questo caso dunque non avendo luogo la riflessione speculare e l'irradiazione pel riscaldamento del disco non producendo effetto valutabile, è chiaro che la deviazione dell'ago era dovuta al calorico diffuso. Questa conseguenza si deduce anche dal tempo che l'ago impiega a giungere alla sua deviazione fissa, quando si rivolge la faccia bianca a ricevere il flusso calorifico.

In quanto alla direzione, facile è assicurarsi che la diffusione succede egualmente per ogni verso. Infatti si ottiene sempre lo stesso effetto, collocando la pila termoscopica a diritta ed a sinistra, in alto ed in basso e in qualunque altra posizione all'intorno della superficie diffusiva, in modo però che l'asse abbia con questa sempre la stessa inclinazione ed il centro sia alla medesima distanza dal disco. L'eguaglianza della diffusione per ogni verso si prova anche più facilmente col calorico solare. Per un foro del diametro di circa un decimetro si fa entrare nella camera nera un fascio di raggi solari, che si dirigono sul mezzo della parete opposta imbianchita. Intanto che si dispone la pila del termoscopio sotto una data inclinazione colla parete dove cade l'imagine bianca, s'intercettano i raggi solari con uno scrimaglio. L'indice dello strumento è a zero, ed al momento che si toglie lo scrimaglio e i raggi solari cadono sul muro, l'ago si mette tosto in movimento e descrive un arco notabile fissandosi dopo circa un minuto e mezzo ad un dato grado. Ripetendo l'esperimento in tutte le posizioni equidistanti dal centro della parete rischiarante e sotto la stessa inclinazione, si ottiene sempre il medesimo grado di deviazione, il che prova la diffusione per ogni verso dei raggi calorifici solari. Chiudendo di nuovo l'apertura e lasciando la pila dirimpetto al muro, l'ago ritorna a zero nello stesso intervallo di tempo che si richiederebbe se, dopo aver ottenuto la deviazione attuale coi raggi diretti, si levasse tutto ad un tratto la sorgente calorifica da cui è prodotta. Da ciò si deduce che il muro, durante l'esperienza, non si era riscaldato di quantità sensibile al termoscopio, e la deviazione osservata era dovuta al calorico diffuso. Si poteva assicurarsene d'altronde interponendo fra la pila ed il muro una lastra di vetro, la quale, invece di ricondurre l'ago a zero, come accadrebbe se l'azione provenisse dal riscaldamento del muro, lo fa soltanto retrocedere di alcuni gradi.

Dunque *i corpi sono dotati di un potere diffusivo che rinvia egualmente per ogni verso il calorico e varia al variarne la qualità.* In causa della diffusione dunque non si può ritenere a rigore il potere

assorbente complementario di quello riflettente (§. 1105), ma bensì della somma di questo col diffusivo.

1121. Le materie diafane e diatermiche a superficie levigate e polite trasmettono regolarmente le irradiazioni composte di luce e di calorico secondo le leggi stabilite (§§. 770 e 1103). Ma se alle lamine di quelle materie si toglie il lucido fregandole con arena o con ismeriglio ed acqua e se ne renda così appannata la superficie; la trasmissione dei due agenti viene dispersa per ogni verso e succede una diffusione, la quale per la luce apparisce all'occhio (§. 772) e pel calorico si verifica mediante il termoscopio. A tale scopo s'istituisce l'esperienza, disponendo l'apparato come in quella del paragrafo 1075, rendendo soltanto paralleli i raggi della fiamma con una lente convessa. La sorgente è a temperatura costante e l'ago del galvanometro di grande prontezza nelle indicazioni. S'interpone fra i due scrimagli una lamina polita di vetro o di altra materia diatermica, l'irradiazione viene in parte intercettata e l'ago si fissa ad un grado minore di prima, conservandosi in tale posizione quantunque si trasporti la lamina più vicina allo scrimaglio anteriore o al posteriore. Ripetendo la stessa sperienza con una lamina di vetro appannata, i raggi calorifici passano ancora attraverso il mezzo, ma sparpagliati e diffusi e la deviazione dell'ago aumenta quando si avvicina la lamina allo scrimaglio posteriore. L'aumento potrebbe essere attribuito all'assorbimento e non alla diffusione del calorico, che transita per la lamina. Ma per accertarsene basta collocare la lamina nella posizione, dove l'effetto riesce maggiore, ed interporre un vetro liscio fra lo scrimaglio posteriore e la pila, che si vedrà la deviazione dell'ago diminuire appena di qualche grado, il che prova non essere l'effetto prodotto dal calorico assorbito, che è sempre minimo (§. 1068). Dunque *i corpi sono dotati d'un potere diffusivo pel calorico, che transita per essi* a somiglianza di quanto si osserva per la luce (§. 772).

1122. Nella diffusione della luce, che transita pei mezzi incolori, non succede alcun cambiamento di proporzione dei suoi elementi, e quando l'irradiazione è bianca, essa conserva nella diffusione la sua bianchezza. Lo stesso è del calorico irradiante succedendo la diffusione senza alterare la proporzione degli elementi pel mezzo atermocroico il salgemma. Vi ha poi un'alterazione eguale a quella della trasmissione pei mezzi termocroici nello stesso modo della luce pei mezzi colorati. La maniera d'agire del nerofumo è eguale pel calorico e per la luce, assorbendo sensibilmente in totalità l'uno e l'altro agente quando è disteso sulla superficie dei corpi opachi ed adiater-

mici; ma coprendo un corpo diafano in modo da diventare opaco, esso non lo rende sempre adiatermico (§. 1091). Parecchi corpi, che nella diffusione per la luce non cambiano la composizione del fascio incidente, in quella pel calorico scompongono l'irradiazione incidente assorbendo alcuni elementi e diffondendo gli altri. Tale è il caso della superficie bianca del disco nelle precedenti sperienze, il quale non cessa d'essere bianco per la luce diffusa che rinvia all'occhio, mentre assorbe certi elementi calorifici e diffonde gli altri in proporzioni più o meno grandi secondo la qualità della sorgente. Lo stesso è della carta, della neve, della biacca e di altre materie candidissime, che che operano sulle irradiazioni calorifiche nello stesso modo delle materie colorate sulle irradiazioni luminose, e si è veduto come assorbono grandemente i raggi delle sorgenti oscure, mentre rigettano molti di quelli delle sorgenti luminose (§. 1112). I metalli all'incontro assorbono sempre l'eguale quantità di calorico e ne diffondono del pari una proporzione invariabile qualunque sia la specie di calore incidente (§. 1110).

Riassumendo dunque diremo che *i metalli*, generalmente colorati per la luce, sono *corpi leucotermici* pel calorico; e che la *biacca*, la *carta* ed altre materie bianche per la luce sono *corpi termocroici* pel calorico. Queste diversità non devono sorprenderci dopo aver veduto il *vetro* ed altri mezzi incolori essere *termocroici* e l'*alume* ed altri mezzi diafani essere *adiatermici* (§. 1072). La diffusione calorifica può essere dunque leucotermica e termocroica nello stesso modo che quella della luce è bianca e colorata. Nella termologia non conosciamo mezzi per definire il calore naturale o bianco nello stesso modo che nell'ottica si ha una luce bianca, cui si riferiscono gli elementi luminosi. Tutte le sorgenti calorifiche sono termocroiche, come sono quelle di cui ci siamo serviti nelle nostre dimostrazioni (§.1098); giacchè ciascuna non si comporta nella stessa maniera colla medesima materia termocroica. Il nerofumo ed il salgemma riescono materie di grande importanza nello studio del calorico irradiante, per la facoltà che hanno una d'assorbire e l'altra di trasmettere le diverse specie di calorico senza alterarne gli elementi, con cui siamo stati in grado di esaminare le intime proprietà del calorico irradiante somiglianti a quelle della luce.

1123. Le cognizioni apprese incontrano parecchie applicazioni agli usi della società ed alla spiegazione di fenomeni che si presentano nel corso della vita. Viaggiando d'estate sotto la sferza dei raggi solari, è meglio aver il cappello e gli abiti bianchi che tinti di nero,

perchè alle irradiazioni luminose il nero facilita l'assorbimento del calorico (§. 1117). Passeggiate, scriveva Franklin a madamigella Stevenson, circa un quarto d'ora ai raggi del sole in un bel giorno d'estate vestita in parte di nero ed in parte di bianco; poscia ponete la mano alternativamente sull' una e sull'altra parte dell' abito: troverete che il nero sarà sensibilmente più caldo del bianco, e che la porzione di corpo vestita di stoffa nera proverà maggior calore di quella coperta di bianco. Esponendosi al sole sente per lo stesso motivo più caldo al capo chi ha i capelli neri di colui che li ha canuti.

Parimenti, coi raggi solari concentrati mediante una lente convessa, si accende più facilmente la carta quando è annerita di quando è bianca. Non è così dei raggi provenienti da una fonte calorifica oscura. I muri delle spalliere, tinti di nero negli orti e nei giardini, assorbono maggiormente i raggi solari, riparando così le piante durante il giorno da un eccesso di calorico, che è poscia emesso nella notte. In tal modo si procura loro nel corso dell'intiera giornata una temperatura più uniforme, che accelera la vegetazione e la maturità dei frutti.

1124. Il caffè e qualunque altro liquido si conserva caldo più lungo tempo in un vaso metallico che in uno di porcellana o di terraglia, ed ancor più se il metallo è tirato al martello; per la ragione che le materie terree sono dotate di facoltà emittente maggiore dei metalli (§. 1109), i quali emettono ancor meno il calorico quando sono battuti (§. 1114). I vasi di metallo conservano pure più a lungo il calore ai liquidi in essi contenuti, quando sono a superficie nuda, che esternamente rivestita di uno o due strati di vernice, quantunque questa conduca meno il calorico (§. 1113). Si comprende altresì come in tutti questi casi i liquidi all'inverso si conservino più freschi nei vasi di metallo che in quelli di altra materia.

La flanella, che opera come la vernice ed è pure meno conduttrice dei metalli, dà ai vasi di queste materie che inviluppa la facoltà di raffreddare più celeramente i liquidi che vi si contengono, e di conservarli meno freschi quando abbiano una temperatura minore di quella dell'ambiente. Applicando però la flanella a più doppi sulla parete del recipiente di metallo, si giunge a ritardare la perdita di calorico al liquido, come con parecchi strati di vernice. I tubi di condotta del vapore, diretto a riscaldare gli appartamenti o l'acqua nelle tratture di seta o altri corpi, si sogliono involgere con materie coibenti a più doppi per impedire che ossidandosi aumentino il loro

potere emittente; mentre ai tubi, che devono irradiarlo negli ambienti, si applica uno o due strati di vernice nera (§. 1113). Egualmente si pratica pei tubi del termosifone, che serve a riscaldare gli ambienti con l'acqua elevata ad una temperatura più o meno grande (§ 973). In virtù del maggior potere assorbente della ghisa in confronto dei metalli puri, i liquidi conservano il loro stato d'ebollizione nei vasi di quella materia con meno fuoco che nelle pentole di rame.

1125. Negli esempi riferiti il calorico libero tende ad equilibrarsi transitando od irradiando per conseguire l'uniforme temperatura che ci mostra l'esperienza (§. 1032); e i corpi a minor temperatura si riscaldano e quelli dotati di maggior calore si raffreddano, per cui il riscaldamento dei primi è sempre conseguenza di raffreddamento dei secondi. I fisici quindi studiarono le leggi di raffreddamento, colle quali dar ragione dei grandi fenomeni, che ci presenta la natura in quell'uniforme ripartizione del calorico. Tutti i corpi irradiano calorico (§. 1105); e se due di essi trovansi in presenza, l'uno invierà dei raggi calorifici all'altro e nello stesso tempo ne riceverà, perchè entrambi ne lanciano da ogni parte attraverso allo spazio da cui sono separati. L'esperienza mostra che questa irradiazione reciproca avviene a qualunque temperatura, e che solo essendo questa più bassa riesce minore l'emissione di calorico. Siamo quindi condotti ad ammettere che il calorico faccia incessantemente uno sforzo per fuggire dai corpi sotto forma irradiante, e che questo sforzo, detto anche tensione, sia maggiore o minore secondo che la temperatura è più o meno elevata.

I raggi vibrati in virtù della tensione transitano per l'aria nello stesso modo che l'hanno attraversata nelle sperienze dirette a dimostrare le leggi del calorico irradiante. Giunti alla superficie di corpi adiatermici, ne vengono in parte riflessi e in parte assorbiti. Ogni corpo dunque deve assorbire e riflettere del calorico irradiante, deve scagliare da tutti i punti della sua superficie una parte del calorico che possiede. I corpi emettendo dei raggi calorifici si raffreddano, assorbendone si riscaldano; è chiaro quindi che, ridotto all'equilibrio il calorico condotto tra diversi corpi posti in presenza gli uni agli altri, la temperatura non può restare uniforme e costante in uno, se la quantità di calorico perduta nell'emissione non sia compensata da quella acquistata nell'assorbimento. L'eguaglianza di temperatura dunque, tra molti corpi che scambievolmente si mandano e ricevono raggi calorifici, dipende da un esatto compenso di quegli scambi istantanei e reciproci. È appunto in tal caso che ha luogo *il principio*

*dell'equilibrio mobile del calorico*, il quale, annunziato la prima volta da Prevost di Ginevra, ha servito a Fourier, a Poisson e ad altri geometri di fondamento per le loro sublimi opere di matematica applicata alla dottrina del calorico. Per prendere una chiara idea di questo principio, imaginiamo un recinto le cui pareti, invece d'essere calde, siano luminose: è chiaro che la luce riempirebbe tutto quello spazio chiuso e che i raggi si rinnoverebbero in ciascun istante ricevendo ogni punto tanti raggi quanti sono quelli che invia in tutte le direzioni. La chiarezza sarebbe sempre la stessa o, come si dice, si avrebbe equilibrio nelle irradiazioni, ma un equilibrio mobile per essere il lumico incessantemente in moto. La grande analogia che passa fra il fluido luminoso ed il calorico irradiante non ci lascia verun dubbio sul principio dichiarato dell' equilibrio mobile del calorico.

Un termometro adunque, situato in un ambiente a temperatura uniforme e costante, si raffredderà o si riscalderà sino a che si sarà posto alla temperatura medesima, ed allora vi sarà equilibrio di calorico, ma equilibrio mobile. Un tale risultato è indipendente dalla forma e dalla grandezza dell' ambiente, dalla superficie o dal potere riflettente, assorbente ed emittente dei suoi punti, e dalla sua temperatura; come pure è indipendente dagli stessi poteri nel termometro. Una volta che questo sia alla medesima temperatura dell' ambiente ed abbia raggiunto lo stato d' equilibrio mobile, lo conserva sino a che i corpi o le pareti dell'ambiente non siano riscaldati o raffreddati da una causa esterna, e non sia disturbato lo stato primitivo dallo strumento nell'ambiente.

1126. Dal principio su esposto dipende il fenomeno osservato la prima volta in Italia dagli Accademici del Cimento (1) e poscia riprodotto da Pictet di Ginevra. Un tal fenomeno è capace d'imporre a chi non abbia abbastanza compreso che il freddo altro non è che l'effetto d' una sottrazione di calorico (§. 1055), e che quindi non può essere ripercosso. Essi disposero di contro ad una gran massa di ghiaccio o d'una mescolanza frigorifera uno specchio di metallo, nel cui fuoco avevano collocato un termometro: tosto che i due corpi si trovarono in presenza, il termometro incominciò ad indicare una diminuzione sensibilissima di temperatura, da cui però quegli Accademici non dedussero essere il freddo una sostanza propria capace ad essere ripercossa dallo specchio concavo e ad essere concentrata

(1) *Saggi di naturali sperienze*, edizione su citata, pag. 114-115.

sul termometro. L'esperienza nella scuola si istituisce meglio servendosi dei due specchi nella maniera descritta (§. 1062), nel fuoco di uno dei quali è posto il termometro e in quello dell' altro alcuni ettogrammi di ghiaccio o la mescolanza frigorifera contenuta in un matraccio.

In quest' esperienza si hanno in presenza due corpi, l' uno ad una temperatura più elevata dell'altro. Il termometro irradia calorico come ne irradia il ghiaccio: il primo però ne emette in maggior quantità del secondo per avere una temperatura più elevata. Col mezzo degli specchi ognuna delle due irradiazioni è rispettivamente concentrata sui due corpi; e in questi scambi reciproci di calorico il termometro si raffredda e il ghiaccio aumenterebbe la sua temperatura se, colla fusione, non si rendesse in esso latente il calorico che riceve (§. 1014). Con ciò l' emissione del secondo corpo non aumenta, e quella del primo, quantunque vada diminuendo, continua a prevalere sinchè abbia acquistato la temperatura del ghiaccio. Gli specchi dunque non fanno altro che promuovere e facilitare la perdita di calorico al termometro, per ricondurlo alla stessa temperatura del ghiaccio.

Un effetto somigliante si prova allorquando ci troviamo in una camera riscaldata da stufa di ferro. Il termometro indica la temperatura dell'ambiente di 14° centesimali, i muri e tutti gli oggetti segnano lo stesso grado e il calor moderato continua per qualche tempo quantunque il fuoco nella stufa sia spento, e ciò per l'emissione dalle pareti e dagli oggetti riscaldati. A malgrado del calor moderato dell'ambiente, poco dopo che ha cessato l'irradiazione della stufa proviamo la sensazione di freddo, e tanto maggiore quanto più la stufa stessa è a noi vicina. La temperatura dell' uomo è di circa 35°, per cui ci troviamo relativamente alla stufa come il termometro relativamente al ghiaccio. Vi hanno dunque fra noi e il metallo della stufa dei reciproci scambi, che sono a nostro scapito, tanto più che il calorico assorbito dalla stufa è facilmente disperso fuori della stanza, dalla conducibilità del tubo pure di ferro.

1127. Un fenomeno, che sembra dipendere dagli scambi reciproci di calorico, è il suono prodotto da due corpi metallici a differenti temperature, il cui insieme si è distinto col nome di *termofonio*. L'apparato è dovuto a Trevelyan di Edimburgo, che lo fece conoscere a Londra nel 1832 e che io ottenni qualche anno dopo ed esperimentai più volte, avendo riscontrato una specie di sibilo, che dura sin quando i due corpi si mantengono a differenti temperature.

Il termofonio consiste in un pezzo di ferro T convesso inferiormente,

e concavo nella parte superiore (fig. 247), della lunghezza di un decimetro. La grossezza nel mezzo della curvatura è di poco più di 4 millimetri, la quale va rastremandosi verso gli orli dove è di circa 1 millimetro, come vedesi nella sezione trasversale *S* in grandezza naturale. La distanza dall'uno all'altro orlo è di 25 millimetri. Il pezzo di ferro ha infisso ad un'estremità un filo d'ottone A del diametro di millim. 2,5, della lunghezza di cent. 9, e terminato in una palla *b* pure d'ottone. L'altro pezzo metallico è un prisma triangolare P di piombo, della lunghezza di quasi 6 centimetri ed a base equilatera, il cui lato è di 25 millimetri. Lungo il mezzo della parte convessa del pezzo di ferro ed all'estremità opposta a quella ove è applicato il gambo A, è praticato un solco di forma triangolare, il quale incomincia colla profondità di poco più di 3 millimetri ed altrettanto in larghezza, e va diminuendo sino verso la metà dove svanisce.

I pezzi del termofonio si dispongono sopra un'assicella apposita o sopra un tavolo orizzontale comune nella maniera indicata dalla figura. Mentre la palla *b* del gambo appoggia sul piano del tavolo, l'estremità opposta del pezzo di ferro risulta abbastanza sollevata per collocarvi al disotto la fiammella d'una piccola lampada ad alcoole. Dopo che il metallo si è riscaldato al di sopra del grado dell'acqua bollente, s'inclina da una parte senza rimoverlo dal suo posto, per cui fa alcune oscillazioni per mettersi di nuovo in quiete nella posizione d'equilibrio voluta dal suo centro di gravità. Le oscillazioni vanno ben presto diminuendo, e giunte a un certo grado proseguono producendo un sibilo assai distinto, che continua sinchè dura il riscaldamento del pezzo di ferro T. Per rendere queste piccolissime oscillazioni sensibili all'occhio, ho più volte collocato a traverso del pezzo T un regolo R di legno, le cui estremità descrivono degli archi tanto più grandi quanto è più lungo.

Una delle condizioni necessarie all'ottenimento del fenomeno sembra che consista nella differenza di conducibilità pel calorico dei metalli componenti i due pezzi T, P. Infatti, sostituendo al prisma di piombo P altro eguale di legno o di rame, non ho mai potuto ottenere le oscillazioni continue nè il sibilo. Infine diremo che l'autore stesso ultimamente ha fatto qualche cambiamento ed ha posto alla prova qualche altra disposizione, con cui assicura d'ottenere pure il fenomeno (1).

(1) Si vegga il *London and Edinburgh ecc. philosophical Magazine*, n° XXVII, pag. 521 e n° XXXII, pag. 85.

Qual'è la causa di questo curioso fenomeno? Come succedono le oscillazioni e come si genera il sibilo? Le opinioni sinora emesse per ispiegarlo non sono abbastanza soddisfacenti. Succede è vero, come dice Faraday (1), un riscaldamento e successivo raffreddamento dei due punti del ferro a contatto col piombo. Ma qual forza si sviluppa per mantenere le oscillazioni? Il sibilo è veramente prodotto dagli urti ripetuti dei due corpi? Non è verosimile l'ipotesi dello stesso Trevelyan, che attribuisce il sibilo ad una corrente d'aria nel solco del pezzo di ferro; giacchè non si dà ragione poi del movimento oscillatorio. Forbes si accosta in parte al parere di Faraday (2). Forse potrebbe dipendere, secondo noi, dalla stessa causa da cui è prodotto quel formicolio, che si sente all'intorno d'un corpo riscaldato (come le stufe ed i tubi di ferro) quando non isparge punto nè luce, nè pare che perda della propria sostanza; giacchè si sa che un tal fenomeno è generato dalla contrazione del metallo pel raffreddamento, che prova coll'irradiazione del calorico, nella quale contrazione, ripetuta per riscaldamento e raffreddamento successivo, potrebbe scorgersi la causa di quel suono e delle corrispondenti oscillazioni. Il raffreddamento e il successivo riscaldamento potrebbero anche far cambiare ad ogni istante la posizione del centro di gravità, ed essere causa di quegli urti ripetuti e di quelle oscillazioni come nell'alissoide (§ 303).

1128. Dopo aver fatto conoscere il principio dell'equilibrio mobile del calorico e qualche fenomeno che ne dipende, ritorniamo al *raffreddamento*, il quale consiste nella diminuzione di temperatura, che provano i corpi per la sottrazione del calorico. Laonde la causa e le circostanze, per le quali si toglie o si sottrae calorico ai corpi, hanno per risultato il freddo. In quella stessa guisa che i corpi non si riscaldano tutti nell'eguale tempo e colla stessa facilità; così gli uni si raffreddano più o meno prontamente degli altri. Nell'uno e nell'altro hanno influenza: 1° la massa; 2° la capacità; 3° la conducibilità; 4° la facoltà emittente, riflettente ed assorbente; 5° la natura del mezzo ambiente; 6° la temperatura e la disposizione dei corpi circostanti. Vedremo nel corso delle dichiarazioni, che andiamo esponendo, come questi elementi concorrono a far variare il raffreddamento.

Allorquando un corpo è più caldo degli oggetti da cui è contornato

(1) *Edinburgh Journal of sciences*, nuova serie, n° XI, pag. 141.

(2) *London and Edinburgh philosophical Magazine*, n° XIX, pag. 15, n° XXI, pag. 132.

o delle pareti da cui lo spazio è circoscritto, esso si raffredda, ossia la sua temperatura va diminuendo col tempo. Siccome poi la perdita di calorico che fa in un dato tempo può essere più o meno grande, così chiamasi *velocità di raffreddamento* il grado di calore che il corpo perde in un dato istante, la quale in generale è misurata dal rapporto che vi ha fra la diminuzione di temperatura del corpo e l'unità di tempo conosciuto per tale diminuzione. Così se un corpo perde 8 gradi di calorico in 1'' e poscia, dopo averne emesso sempre più, giunge a perderne soltanto 4 nello stesso tempo, la sua velocità di raffreddamento nel primo caso è doppia di quella nel secondo. Giova qui l'avvertire che *la velocità di raffreddamento differisce dalla velocità con cui un corpo perde calorico:* imperocchè quest'ultima potrebbe essere grande in confronto della stessa quantità in altro corpo, e tuttavolta la velocità di raffreddamento del primo essere minore di quella del secondo per la sua maggiore massa e la sua grande capacità pel calorico.

1129. Dal primo all'ultimo istante di raffreddamento, la velocità con cui questo succede va sempre cangiando in serie decrescente: laonde si chiama *legge di raffreddamento* il legame dei rapporti che esistono fra tutte queste successive velocità. In due corpi le velocità successive di raffreddamento possono essere assai differenti e, non cambiando i loro rapporti, manifestare nullostante la medesima legge di raffreddamento. Newton ammise a priori che un corpo caldo, sottoposto ad una causa costante di raffreddamento, prova ad ogni istante *una perdita di calorico proporzionale all'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo circostante.* Questa legge è stata rinvenuta giusta da Krafft e Richmann per le temperature poco elevate. Sperienze consimili istituirono Leslie, Dalton ed altri, dalle quali si apprende ch'essa può essere considerata come esatta quando la differenza di temperatura non oltrepassa 82 gradi centesimali (180 Fabr.). Dulong e Petit intrapresero con molta diligenza nuove sperienze sulla medesima, dalle quali in conclusione si ricava ch'essa può essere ritenuta sufficientemente esatta nella pratica.

Il raffreddamento nel vuoto è dovuto alla sola irradiazione del corpo, mentre nell'aria o in qualunque altro fluido esso dipende dalla perdita cagionata pel contatto del fluido e da quella prodotta per irradiazione. Dulong e Petit, esponendo all'aria libera un termometro centesimale, il cui bulbo aveva due centimetri di diametro, ottennero per diversi eccessi di temperatura sull'aria circostante le velocità di raffreddamento qui notate.

| *Eccessi di temperatura sull'aria* | *Velocità osservata* | *Velocità calcolata* |
|---|---|---|
| 100° | 18,92 | 18,92 |
| 80 | 14,00 | 15,13 |
| 60 | 9,58 | 11,35 |
| 40 | 5,93 | 7,57 |
| 20 | 2,75 | 3,78 |

L' ultima colonna si è calcolata secondo la nominata legge; cioè esprimendo la perdita di calorico in un dato tempo la velocità di raffreddamento, questa perdita per l' eccesso di 20, per es., sia il quinto di quella per 100°. Da qui si scorge come la legge si possa ritenere, entro certi limiti, applicabile alla pratica, come l'hanno applicata Tredgold (1) ed altri.

1130. Quando un corpo è riscaldato di più in alcune parti che in altre, le prime si raffreddano movendosi il calorico dalle une alle altre in conseguenza della legge generale con cui il calorico libero tende all'equilibrio (§. 1032). Ma a misura che, pel raffreddamento delle parti più calde e del riscaldamento di quelle che lo sono meno, diminuisce l' eccesso di temperatura delle une sulle altre, quel movimento diventa più lento. A pari differenza di temperatura però esso sarà più rapido nei metalli che in altre materie, e per riguardo ai primi più nel rame che nel ferro e più in quest'ultimo metallo che nel piombo; succederà più rapido cioè, quanto più il corpo è atto a condurre il calorico. È appunto per ciò che, riscaldando la massa d'un corpo in una parte, questa tende a prendere un' uniformità di temperatura più presto nel rame che nel piombo, e più presto in questo metallo che nella terraglia. Ad alterare questo modo di distribuzione del calore influisce nella pratica la perdita o l'acquisto, che avviene alla superficie esterna del corpo. Infatti nel primo caso aumenta l'eccesso di temperatura delle parti calde su quella delle altre, e nel secondo diminuisce: per cui in quello il movimento del calorico diventa più rapido e in questo più lento. Gli strati, a misura che si discostano dai più caldi, hanno una minore temperatura e quindi vi è una degradazione di calore, che avrà incominciamento dalla parte più calda; per la quale degradazione gli eccessi di temperatura andranno diminuendo e il passaggio del calorico diventerà sem-

(1) *Principes de l'art de chauffer et d'aérer les édifices publics* ecc. di Tredgold tradotti dall'inglese da Duverne. Parigi 1825, pag. 73 e seguenti.

pre più lento. Laonde se è 1 la quantità di calorico che transita quando la differenza di temperatura è 1°, sarà 3 quando la differenza ascende a 3°. Che se il corpo è formato di parti eterogenee, la copía di calorico, che si propaga o la rapidità con cui transita, dipende anche dalla facoltà conduttrice, ed a pari differenza di temperatura sarà tanto più grande quanto è maggiore la conducibilità del corpo. Questa maniera di diportarsi del calorico nel transitare pei corpi è confermata dall'esperienza.

1131. Ne risulta quindi che, quanto più è grosso il corpo per cui deve transitare il calorico, tanto meno sarà il raffreddamento della parte riscaldata. Imperocchè la differenza di temperatura fra gli strati successivi o la degradazione riuscirà minore, e quindi meno rapida sarà la propagazione. È per ciò, che a parità di potere emittente, ci ripariamo nell'inverno meglio dal freddo quanto più raddoppiamo le coltri del letto, rendendo così più difficile la dispersione del calore animale. Lo stesso è dei tubi di condotta del vapore, dell'acqua calda e simili (§. 1123).

Parimenti negli antri e in tutti i sotterranei le variazioni di temperatura, che succedono alla superficie della terra dall'estate all'inverno, riescono meno sensibili quanto più sono posti a profondità, cioè quanto più è grosso lo strato da cui sono separati dalla superficie medesima. La lava fusa ed infuocata, che i vulcani emettono ed accumulano in grandi masse sul terreno all'intorno, si riconsolida prima alla superficie, dove ben presto perde il calorico, da cui è mantenuta allo stato liquido; e il riconsolidamento succede nelle parti interne durante un tempo tanto più lungo quanto più esse si allontanano dalla superficie. Il calorico negli strati inferiori si conserva per lungo tempo, e la temperatura è crescente dalla superficie colla profondità; talchè, se per una fenditura si può introdurre nella massa qualche corpo combustibile, questo abbrucia anche dopo parecchi mesi che la lava è stata erutata. I precedenti fenomeni appartengono alla stessa categoria dell'aumento di temperatura, che si riscontra a misura che ci sprofondiamo nelle viscere della terra; da cui ebbe origine la congettura dei geologi d'un *calore centrale nel nostro pianeta* esistente sino dall'epoca della sua formazione.

1132. Consideriamo ora un corpo isolato nello spazio, anche un pianeta del nostro sistema. Esso irradia per ogni verso calorico e si raffredderebbe sempre più, se il sole non riparasse alle perdite che fa continuamente. È chiaro che in questo caso concorreranno al raffreddamento tutte le circostanze precedentemente annoverate (§. 1127).

A pari circostanze si comprende che quanto più è grande la massa tanto minore sarà il raffreddamento del corpo, perchè la quantità di calorico è in ragione della massa (§. 1033). Giove dunque, che è il maggiore dei pianeti, sarebbe quello che impiegherebbe maggior tempo a raffreddarsi. Ma la quantità di calorico è non solo in ragione della massa ma ben anche della capacità del corpo (§. 1034); cosicchè quanto più questo è capace si raffredderà tanto più lentamente di un altro ad eguale temperatura e di minor calore specifico.

Si è veduto precedentemente quanta influenza abbia la conducibilità sul raffreddamento d'un corpo. Quello fra i pianeti, che è formato di materie poco conduttrici, avrà un elemento che contribuirà a ritardare la perdita del calorico suo proprio, quando le perdite non fossero supplite dalle irradiazioni solari. Nelle masse d'acqua e di altri liquidi, che si raffreddano lateralmente, si generano delle correnti (§. 967), per le quali succede un rimescolamento fra le porzioni calde e raffreddate, e si distribuisce il calore fra le diverse molecole senza il bisogno della conducibilità. Nel riscaldamento e nel raffreddamento dei corpi si deve aver riguardo dunque alla conducibilità ed alla capacità pel calorico. Lo stagno può essere più pronto del ferro a riscaldarsi, benchè sia meno conduttore di quest'ultimo metallo; imperocchè il tempo, necessario ad elevare i due corpi alla medesima temperatura, dipende non solo dall'attitudine del corpo a condurre il calorico in tutta la massa, ma anche dalla capacità per contenerlo. Infatti il ferro, quantunque miglior conduttore dello stagno, gli è inferiore nella prontezza a riscaldarsi a parità di circostanze, perchè dotato di maggiore capacità.

La facoltà emittente contribuisce moltissimo al raffreddamento di un corpo sospeso nello spazio. Se vi fossero laghi e mari di mercurio sul nostro globo e su altri pianeti, invece d'acqua, l'emissione per quelle superficie riuscirebbe molto minore e il raffreddamento riuscirebbe molto lento in quelle parti. Quanto più è estesa la superficie irradiante, tanto più è grande la perdita di calorico; in cui vi ha influenza la forma, principalmente se è tale da dirigere porzione dell'irradiazione sul corpo stesso.

Lo stato del mezzo ambiente e degli oggetti circostanti, posti a distanze più o meno grandi, influiscono sul raffreddamento d'un corpo. Se il mezzo è poco diatermico lo ritarda, e d'altra parte lo accelera impossessandosi per contatto del calorico del corpo. Per questa parte più è grande la densità del mezzo riesce anche maggiore la perdita di calore, la quale è promossa coll'agitazione e colla ventilazione.

L'influenza della ventilazione dell'aria nel raffreddamento d'un corpo è difficile ad essere valutata, perchè la perdita di calorico avvenuta per essa dipende da circostanze variabilissime, cioè dalla temperatura dell'aria che subentra, dalla prestezza con cui l'una è sostituita all'altra, dalla sua densità ecc. Importa di conservare con una ventilazione ben intesa l'aria pura e salubre nelle abitazioni, e le persone che si occupano del modo di riscaldare le stanze e gli appartamenti non devono aver riguardo all'economia del combustibile quando trattasi della salubrità. Imperocchè la salute è il principale bene dell'uomo, e non bisogna sacrificarla pel risparmio insignificante di spesa nel combustibile. I corpi circostanti infine irradiano essi il proprio calorico e rimettono per riflessione porzione di quello, che ricevono dal corpo che si raffredda.

1133. Come le gocce d'acqua e di altri corpi posti sopra lamine arroventate non si riscaldino al loro grado d'ebollizione? Come sotto l'azione di quell'elevata temperatura trovino una causa di raffreddamento, per la quale si mantengono al disotto del loro punto d'ebollizione? Di questi fenomeni abbiamo fatto cenno altrove in quanto alla causa che impedisce ai liquidi di distendersi sulle superficie delle lamine (§. 100); ma qui dobbiamo considerare come si mantiene la costanza di temperatura di quei corpi posti sopra lamine incandescenti.

Abbiamo già detto che le goccie d'acqua sulle lamine arroventate si conformano in una sfera schiacciata o prendono come si dice lo *stato sferoidale*, e il liquido si mantiene alla temperatura di 96°,5 centesimali quand'anche il corpo incandescente, su cui riposa, abbia il calore di 800 e più gradi. L'acido solforoso anidro bolle e passa allo stato aeriforme alla temperatura di —10°, cioè per conservarlo liquido bisogna che abbia 10 gradi al disotto dello zero termometrico. Ora, versato sopra una lamina rovente, esso prende la forma sferoidale e si mantiene alla temperatura di —10°,5 inferiore a quella della sua ebollizione. Lo stesso è dell'alcoole assoluto, che bolle a 79°,7 centesimali, ed allo stato sferoidale sopra una lamina arroventata si mantiene al calore di 75°,5; come pure di altri corpi posti nelle stesse circostanze (1). Il fenomeno più sorprendente di questa specie è il seguente ottenuto da Boutigny: si riscalda al calore bianco la muffola d'un fornello a copella e si arrossa al fuoco una cassula di

(1) Si vegga per questi fenomeni gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIV, pag. 225, e t. XV, pag. 117.

platino, nella quale si versa un grammo di acido solforoso anidro. Si pone poscia la cassula al fondo della muffola, chiudendo lo sportello e lasciando soltanto un piccolo spazio per osservare l'acido solforoso. Se il tempo è secco, l'acido evapora lentamente senza bollire, precisamente come all'aria libera, quantunque sia sottoposto ad una temperatura eccessivamente elevata ed all'azione dei raggi calorifici, che s'incrocicchiano per ogni verso. Ma se il tempo è umido l'acqua igroscopica è attratta dall'acido solforoso, si congela al fondo della muffola, e *si ritira dalla cassula un piccolo pezzo di ghiaccio.*

Si osservi dapprima che in tutti questi fenomeni il liquido, passato alla forma sferoidale, svapora lentamente e lo sferoide va sempre più diminuendo nella massa sotto l'azione della lamina infuocata. L'evaporazione però è sempre più celere quando la lamina è riscaldata al calore oscuro che a quello rovente. Importa poscia di notare che lo sferoide riposa sempre sopra uno strato di vapore, che si forma all'istante stesso che il liquido tocca la lamina riscaldata. Molte prove si hanno del distacco del liquido dal corpo rovente, fra le quali quella di vedere attraverso all'intervallo l'estremità della fiammella d'un cerino, che appena sorge dal piano della lamina e che, elevandola di più, comparisce ingrandita per la rifrazione dello sferoide liquido. Ammesse queste verità di fatto, diremo che l'irradiazione della lamina si dissipa in due maniere differenti: 1° la porzione di calorico, che assorbe lo sferoide liquido, si fa latente nel vapore, che si forma alla superficie superiore (§. 1015); 2° l'altra porzione attraversa la goccia liquida sotto forma irradiante (§. 1071). Quest'ultima è molto più grande quando l'irradiazione è luminosa di quando è oscura; sapendosi infatti che l'acqua dà passaggio ai raggi lucidi ed intercetta gli oscuri (§. 1092); e d'altra parte nelle irradiazioni luminose esistono pochissimi raggi di calorico oscuro (§. 1097), ed a misura che la temperatura si abbassa i raggi oscuri aumentano (§. 1099). Laonde si comprende come passando il riscaldamento della lamina dallo stato rovente a quello oscuro, l'evaporazione dello sferoide liquido diventa molto più celere per la ragione che i raggi oscuri, non venendo trasmessi dal liquido, sono assorbiti e producono quell'acceleramento.

1034. Cogliamo qui l'occasione per far conoscere come Person siasi servito della lenta evaporazione dei liquidi alla forma sferoidale, a valutare il calorico che si fa latente passando essi allo stato aeriforme (1). Egli lasciava cadere una goccia del liquido sopra una la-

(1) Si vegga il giornale l'*Institut* del 1843 settembre, n° 507, pag. 310.

mina arroventata d'argento o di platino, e valutava il calorico d'elasticità dal peso del liquido, dal tempo d'evaporazione e dal calore del metallo. In tal maniera ha sperimentato su 14 liquidi, di cui presentiamo i risultati in aggiunta a queli riportati (§. 1015).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Acido solforoso . . . | 95,0. | Alcoole . . . . . | 207,7. |
| Etere solfidrico . . . | 95,3. | Acqua. . . . . . . | 543,0. |
| Etere solforico . . . | 90,8. | Essenza di trementina. | 76,8. |
| Bromo. . . . . . . | 97,0. | Iodio . . . . . . . | 84,0. |
| Acido solforico anidro . | 100,0. | Solfo . . . . . . . . | 120,0. |
| Solfuro di carbonio . | 105,0. | Acido solforico . . . | 122,0. |
| Spirito di legno . . . | 291,0. | Mercurio . . . . . . | 62,0. |

Alcuni di questi risultati del calorico, che si fa latente nei vapori dei liquidi, coincidono con quelli riportati altrove (§. 1015), e tutti sono espressi in tante unità in peso d'acqua equivalente ciascuna a quello dello stesso vapore per elevarle d'un grado del termometro centesimale.

## SEZIONE III.

### *Della produzione del calorico.*

1135. Tutti i corpi, che spontaneamente o artificialmente con mezzi ordinari o suggeriti dalla scienza sviluppano o producono caldo, si chiamano *sorgenti* o *fonti* di calorico. Le sorgenti di questo mirabile fluido si distinguono in quattro classi, le quali sono: 1° *Sorgenti naturali spontanee*; 2° *sorgenti che dipendono da mezzi mecanici*; 3° *sorgenti che derivano da processi fisici*; 4° *sorgenti che si attengono ad azioni chimiche*.

Alla prima classe appartengono tutti quei corpi, nei quali risiede una fonte naturale ed immediata di calorico, e donde questo fluido nasce spontaneo senza il sussidio dell'opera dell'uomo. Tali sono alcuni astri e corpi posti nello spazio del firmamento fuori del nostro globo, i quali irradiano verso la terra del calorico da essi posseduto sino dal momento della creazione. Il sole va distinto sopra ogni altro come la principal fonte che riscalda il nostro globo, e da cui tutti gli oggetti terrestri traggono moto e vita. Alcune ragioni hanno indotto i geologi a congetturare che, nel centro di questo nostro pianeta, esista un fuoco perenne sin dalla sua formazione, denominato perciò *calore centrale del globo* (§. 1131), e che costituirebbe un'altra sorgente di calorico. A questa classe potrebbe eziandio essere riferito

il *calore animale*, se non si avesse riguardo al modo con cui si sviluppa, per cui viene a collocarsi nella quarta delle sorgenti annoverate.

Appartengono alla seconda classe tutti quei mezzi mecanici, coi quali si ritrae calorico dai corpi, tali sono la *condensazione*, prodotta mediante la *compressione*, la *percussione*, lo *sfregamento* e simili. In tutti questi casi pare essere il calorico latente che viene sprigionato e reso libero dai corpi.

La terza classe comprende tutti quei casi in cui il calorico si rende sensibile mediante la *liquefazione* dei vapori, il *riconsolidamento* dei liquidi, il trascorrimento *del fluido elettrico* pei corpi e simili.

Le sorgenti della quarta classe traggono la loro origine dalle azioni molecolari della materia, e sono di questa specie tutte le *combustioni*, le *fermentazioni*, le *combinazioni* e le *mescolanze* diverse in cui agisce l'affinità, o la semplice adesione. In queste azioni sembra che nella maggior parte dei casi sia il calorico combinato che si rende libero.

1136. Avanti di occuparci delle diverse fonti, importa che impariamo a valutare la quantità di calorico, che dalle medesime viene somministrato e che, non potendosi rinchiudere nei vasi come i fluidi ponderabili, non si misura a volume avendosi soltanto dei rapporti relativi come nella valutazione del calorico specifico (§. 1034).

Diversi metodi s'imaginarono e s'inventarono ben anche degli apparati per determinare i rapporti delle quantità di calorico somministrato dalle diverse sorgenti. Essi sono fondati sopra l'uno o l'altro dei tre principii seguenti: 1° *Dalla quantità di ghiaccio a zero fuso si hanno degli effetti, che rappresentano i rapporti delle quantità di calorico, da cui sono prodotti.* Infatti, presa per unità la dose di calorico necessaria a fondere un determinato peso di ghiaccio, se ne avrà una doppia, tripla, quadrupla ecc. dose quando ne sia fuso un peso doppio, triplo, quadruplo ecc. nelle stesse circostanze; 2° *Dalla quantità d'acqua riscaldata ad un dato grado si ottengono le richieste misure di calorico.* Imperocchè se per innalzare, da un dato grado ad un altro parimenti dato una quantità d'acqua presa per unità, sia mestieri una certa dose di calorico; per produrrre il medesimo effetto in una doppia, tripla, quadrupla ecc. massa dello stesso liquido, posto nelle stesse circostanze, se ne richiederà una doppia, tripla, quadrupla ecc. dose. 3° *Dalla quantità d'acqua, che viene ridotta in vapore, si desumono i medesimi rapporti*, giacchè si sa che se, per ridurre in vapore una data massa di quel liquido, è necessaria una dose costante di calorico, per trasformarne un peso doppio, triplo ecc. ne abbisognerà una dose doppia, tripla ecc.

1137. Il *calorimetro a ghiaccio* altrove descritto (§. 1036) è fondato sul primo degli annunziati principii. All'appoggio dello stesso principio si valuta nella meteorologia, con una disposizione apposita, la quantità di calorico versato dal sole sulla nostra terra nel corso d'un anno, o quella su qualche luogo nelle diverse stagioni, per essere poscia distribuito o disperso per irradiazione con mirabile magistero. Da indagini di tal natura risulterebbe che la quantità di calorico, versato in un anno dal sole sul globo terracqueo, eguaglia quella che sarebbe necessaria a fondere uno strato di ghiaccio a zero di 14 metri d'altezza, che coprisse tutta la superficie terrestre.

1138. Il secondo principio viene comunemente adoprato per valutare la quantità di calorico, che si sviluppa nella combustione, notando la temperatura che prende una data quantità d'acqua contenuta nella caldaia d'un fornello. Su di esso è anche costrutto il *calorimetro ad acqua*, che serve in alcuni casi per la determinazione del calorico risultante dalla combustione e dalla respirazione. Il calorimetro ad acqua, che generalmente trovasi nei gabinetti di fisica, è quello di Rumford, la cui costruzione è stata modificata da alcuni sperimentatori per particolari indagini. L'apparato di questa specie, di cui mi sono servito per alcune sperienze, si componeva d'una cassa parallelepipeda di sottile lamina di rame della lunghezza di cent. 22 per 12 di larghezza ed altrettanto d'altezza, che si riempie d'un peso noto d'acqua distillata. Al coperchio è applicato un termometro, che s'immerge in quel liquido e ne indica in ciascun istante la temperatura. Un serpentino fatto pure di sottile lamina dello stesso metallo, la cui sezione è un rettangolo di 40 per 18 millimetri di lati, è assicurato verso il fondo della cassa e passa sotto di questo a forma d'imbuto. Il condotto del serpentino fa alcuni giri sul fondo della cassa ed, attraversando la parete opposta, si prolunga a foggia di tubo conico, che si può unire ad altro recipiente parallelepipedo diviso in due capacità; l'inferiore delle quali si mette in comunicazione col serpentino e termina dalla parte opposta nell'aria, la superiore si empisce d'acqua alla temperatura dell'ambiente, per osservare se i prodotti aeriformi passati pel serpentino abbiano ancora del calorico da depositare. La cassa unitamente al coperchio ed al serpentino, senza l'imbuto, pesava grammi 956,3, e il recipiente parallelepipedo aggiunto alla cassa grammi 672,4.

Il calorico sviluppatosi nella combustione entra coll'aria per l'imbuto, percorre il serpentino e si comunica all'acqua da cui è circondato, e il fluido esce infine dalla cassa alla temperatura dell'acqua.

Per evitare infine l'errore risultante dalla dispersione del calorico nell'aria ambiente o da questa comunicato all'apparecchio, importa di versare l'acqua nella cassa alla temperatura di tanti gradi al di sotto di quella dell'ambiente quanti sono quelli di cui si farà elevare al disopra della stessa pel calorico che riceve dalla materia che abbrucia. Per regolare quest'operazione s'istituiscono alcune sperienze preliminari. In tal maniera non si ha la cura di tener conto del calorico, che l'acqua della cassa può ricevere e dare all'ambiente. Giacchè, durante il tempo che la massa liquida si riscalda, riceve prossimamente tanto calorico dall'ambiente quanto ne disperde in esso a misura che il suo calore s'innalza al disopra di quello dell'ambiente medesimo.

Per misurare la quantità di calorico che si sviluppa dalla combustione d'una materia, per es. dell'olio, si pesa la quantità di questo liquido contenuto nell'apposita lampada e si accende lasciandolo abbruciare al disotto dell'imbuto. I prodotti della combustione si elevano ben tosto, percorrono i diversi giri del serpentino e vi depositano il calorico che si comunica all'acqua, sortendone poscia alla temperatura di questo liquido. Conoscendo il peso del rame della cassa, la capacità pel calorico di questo metallo, come pure il peso dell'acqua e la temperatura cui è stata innalzata; e conoscendo infine il peso dell'olio consumato durante l'esperimento è facile calcolare il calorico sviluppato da un'unità in peso d'olio che abbrucia nell'aria ed espresso nella quantità d'acqua innalzata d'un grado di temperatura. Egualmente si opera per la cera, pel sego e per altre materie combustibili. Esperimentando in tal maniera si è trovato che un grammo d'olio d'ulive produce tanto calorico da elevare di 1° centesimale più di chilogrammi 9 d'acqua. L'apparato di Rumford ha l'inconveniente di lasciare sfuggire una buona porzione di calorico allo stato irradiante all'intorno dell'aria ambiente, senza essere raccolto dall'acqua della cassa.

Il calore animale si valuta con calorimetri somiglianti, fondati sul calore che prende una data quantità d'acqua. L'animale è rinchiuso in una cassa fatta di sottili lamine di rame, dove riceve l'aria necessaria alla respirazione per un condotto apposito. Questa cassa è contenuta in altra di maggiore ampiezza, e fra l'una e l'altra si versa l'acqua destinata a ricevere il calore, che si sviluppa. I prodotti della respirazione escono per un altro condotto e sono raccolti per essere sottoposti all'analisi. Le sperienze durano d'ordinario due ore, e si valuta il calore animale dalla temperatura e dalla massa d'acqua unitamente a quella del rame.

1159. Il terzo principio, mentre può essere adoprato coi processi comuni per la misura del calorico sviluppato dalle materie in combustione, è stato applicato da Bellani alla costruzione d'un apparato apposito, che egli chiama *collettore del calorico* e può essere utile in qualche indagine, e principalmente per determinare il calorico versato in un giorno dal sole in confronto di quello d'altro giorno. Il collettore del calorico è una specie di lambicco che distilla nel vuoto, e consiste in due bolle di vetro A, B del diametro ciascuna di 20 a 40 millimetri e comunicanti fra loro mediante un tubo (fig. 348). La bolla B è congiunta inferiormente ad altro tubo ben calibro CD del diametro interno di 4 ad 8 millimetri e della lunghezza di 2 a 4 decimetri. Le capacità e le dimensioni sono arbitrarie, purchè le bolle siano in tale rapporto col tubo CD che questo possa contenere tutta la quantità di liquido distillato coll'evaporazione. Il liquido introdotto nello strumento occupa quasi la metà della bolla A. Tutta la capacità, ermeticamente chiusa, è stata privata d'aria coll'ebollizione del liquido avanti di fondere e chiudere l'estremità D del tubo; con ciò il liquido viene ridotto ad occupare circa il terzo della bolla e in quantità sufficiente a riempire tutto il tubo verticale, che serve di misura. Il tubo è assicurato ad una verga o cilindro di vetro EF, dove vi è applicata la scala in millimetri, ed è piantato verticalmente sopra il piede P zavorrato di piombo.

Bellani propone anche una scala per rendere lo strumento comparabile, mantenendo per un dato tempo, per esempio un'ora, la bolla A, contenente tutto il liquido, in un ambiente alla temperatura di 25° centesimali e l'altra B a quella del ghiaccio deliquescente, che adempie così al refrigerante del lambicco comune. La quantità di liquido, distillato in quel dato tempo ed a quella differenza di temperatura, si raccoglierà nel tubo CD ed occuperà una certa lunghezza, che si dividerà in un certo numero stabilito di parti, prolungando la divisione superiormente lungo il tubo. In tal modo si avrà una scala comparabile e facile a verificarsi qualunque sia la dimensione dello strumento e il liquido in esso contenuto. Il liquido può essere l'acqua o l'alcoole.

Per far uso dello strumento si raduna tutto il liquido nella bolla A, inclinando opportunamente il tubo e riscaldandolo ben anche con una mano. Non farebbe difetto quando qualche poco di liquido rimanesse nel tubo, purchè se ne tenga nota. Alla bolla A è avvolta una sottile stoffa nera di seta, che ben si adatta alla sua superficie, e si espone lo strumento al sole, di cui si vuole misurare il calorico che durante

un certo tempo versa sulla terra. Riscaldandosi di più la bolla nera che la nuda, incomincia tosto l'evaporazione o distillazione, la quale sarà più o meno rapida secondo la forza dei raggi solari. Il liquido giunto nell'altra bolla B riprende l'ordinaria temperatura e si ricondensa in liquido nel tubo, il quale colla scala ne indicherà la quantità e quindi la dose relativa di calorico necessario a trasformarlo in vapore in quel dato tempo.

Bellani osserva che gli ordinari termometri non danno che il grado di calore dell'atmosfera all'atto dell'osservazione, ed i termometrografi non fanno conoscere che il massimo e il minimo di temperatura avvenuti in due ore differenti della giornata. Con questi strumenti quindi si ha soltanto la temperatura di alcuni istanti di tempo, mentre la natura opera in tutti gli istanti. Egli ne trae la conseguenza che gli scrittori di agronomia e di fisiologia vegetabile non possono rinvenire alcun rapporto fra l'epoca della comparsa delle prime foglie, dei fiori dei vegetali e della maturanza dei frutti, e le temperature indicate dalle osservazioni contemporanee, fatte cogli ordinari strumenti misuratori del calore. Lo sviluppo delle piante è determinato non dalle temperature di certi momenti del giorno, ma dalla quantità totale di calorico manifestata per gl' interi giorni all'aprirsi della primavera. Il collettore del calorico dà appunto quest'ultima misura, e se il sole cessa di splendere sull'orizzonte o viene diminuita la sua azione con l'interposizione delle nubi, oda vapori sparsi nell'atmosfera, o in causa dell'obliquità dei raggi, cessa o diminuisce del pari l' aeriformazione nel collettore. Laonde nell'intervallo dell'intera giornata o di altro determinato tempo, la quantità di calorico è proporzionale alla quantità di liquido evaporato e ricondensato nel tubo. Da uno all'altro giorno, dall'una all'altra ora si avranno dunque espressi in numeri i rapporti delle quantità di calorico versato dal sole sopra un dato luogo della terra.

1140. I rapporti espressi secondo uno dei tre principii esposti si possono tradurre facilmente in qualcheduno degli altri due. Se il calorico prodotto da una sorgente è atto a fondere la massa $g$ di ghiaccio ed a ridurlo in acqua alla temperatura zero, questo stesso calorico sia atto ad elevare a gradi centesimali $t$ la massa d'acqua, che diremo $a$. Siccome poi il ghiaccio nel fondersi assorbe tanto calorico capace a riscaldare di 79° centesimali altrettant'acqua in peso (§. 1014); così si avrà (1), $79g=at$.

Lo stesso calorico, che ha innalzato la massa $a$ d'acqua di $t$ gradi, quanto vapore acqueo formerebbe partendo dal punto dell'ebollizione?

Il calore assorbito dal vapore è capace di elevare tant'acqua, da zero all'ebollizione, equivalente a 5,5 volte il suo peso (§. 1015); per cui, chiamando $v$ questo peso, si avrà il calorico assorbito $5,5v \times 100$, ossia $550v$, e sarà (II) $at=550v$.

Combinando la (I) colla (II) equazione, si ha quest' altra; (III) $79g=550v$, che dà la relazione fra il peso del ghiaccio fuso e quello dell'acqua trasformata in vapore dalla stessa quantità di calorico.

Importa d'osservare che le due equazioni (II) e (III), che danno la quantità d'acqua $v$ trasformata in vapore dal calorico, che è atto a fondere $g$ ghiaccio ed a riscaldare di $t$ gradi la massa $a$ d'acqua, suppongono che l'acqua sia ridotta in vapore quando abbia già raggiunta la temperatura di 100°. Ma se l'acqua abbia invece la temperatura $\theta$, essa per giungere a quel punto, avanti di passare in vapore, dovrà essere riscaldata di gradi $100-\theta$, ossia le si dovrà comunicare la quantità di calorico $(100-\theta)v$. Siccome questo calorico va a scapito di quello diretto ad operare la trasformazione in vapore; così le due formole precitate si cambiano in quest' altre: $at=550v-(100-\theta)v$; $79g=550v-(100-\theta)v$, ossia (IV) $at=(450+\theta)v$; (V) $79g=(450+\theta)v$.

Diamo qui alcuni esempi a schiarimento dell'uso di quelle formole. Quant'acqua eleverebbe da zero a 100° il calorico che è stato atto a fondere a zero 4 chilogrammi di ghiaccio? Facendo le opportune sostituzioni nella formola (I) si ha $a=3,16$. Che se l'acqua dovesse essere elevata soltanto a 30 gradi, allora si avrebbe $a=10,53$. Volendo sapere quanto vapore si formerebbe dal calorico che ha elevato di 55° la temperatura di 20 chilogrammi d'acqua, si avrebbe dalla formola (II) pel vapore richiesto $v=2$. Cerchiamo inoltre la quantità d'acqua che potrebbe essere ridotta in vapore dal calorico, che ha fuso 10 chilogrammi di ghiaccio. Dalla formola (III) si ottiene, per l'acqua ridotta in vapore, $v=1,44$. Il calorico, che ha elevato di 30° chilogrammi 23 d'acqua, quanto vapore formerebbe applicato a riscaldare dell'acqua già alla temperatura di 10°? La formola (IV) ci dà tosto $v=1,5$. Si domanda infine la quantità d'acqua a 10° che sarebbe ridotta in vapore dal calorico che è capace di fondere 46 chilogrammi di ghiaccio? Dalla formola (V) si ha $v=7,9$.

Adoprando dunque l'uno o l'altro dei tre principii, *la fusione del ghiaccio, il riscaldamento dell' acqua e l' evaporazione di questo liquido*, per esprimere la quantità di calorico somministrato da una sorgente qualunque; i risultati, che si hanno espressi secondo l' uno di essi, si traducono facilmente in quelli degli altri due.

1141. Davy, nelle sue indagini sul calorico sviluppato dalla com-

bustione di alcuni gas, si serviva dell'olio d'olive invece dell'acqua in differenti stati. Egli abbruciava eguali quantità di quei fluidi in un gazometro a mercurio fornito di chiavette e di un tubo di platino, pel quale era condotto il gas. Al di sopra di questo tubo e corrispondente allo spazio, dove succedeva la combustione, era collocato un vaso di rame riempiuto d'olio d'olive, la cui temperatura era indicata da un apposito termometro. Riscaldava dapprima l'olio sino a 100° centesimali per evitare l' inconveniente dell' evaporazione dell' umidità, che poteva produrre qualche differenza negli effetti prodotti. Usava ogni diligenza perchè i gas abbruciassero nelle stesse circostanze, sotto l'egual pressione e per quanto era possibile nell' egual tempo. Dopo ciascuna sperienza puliva il fondo del vaso (1). Essendo la capacità dell' olio pel calorico espressa da 0,3096, si possono facilmente tradurre questa specie di valutazioni in acqua. Chiamando $m$ la quantità d'olio riscaldato di $t$ gradi sopra 100, sarà la quantità di calorico espressa in acqua da $0,3096mt$.

1142. Marco Bull istituì agli Stati Uniti d'America una lunga serie d'esperienze sul calorico sviluppato da parecchi combustibili, servendosi nè dell'olio d'olive, nè dell'acqua nei diversi suoi stati, ma dell'aria rinchiusa in un determinato spazio da pareti di legno come cattivo conduttore del calorico (2). Questa specie di camera era isolata nell' aria e circondata da un' altra di maggiore grandezza, fatta pure di legno. Nella prima collocava una stufa di metallo, con condotto all'ingiro per obbligare il fumo a depositare il proprio calorico e ad uscire nell'atmosfera ad una temperatura non superiore a quella dell' aria interna. Abbruciando i combustibili in determinata quantità nella stufa, ed osservando con parecchi termometri la temperatura della massa d'aria riscaldata, ne stabiliva con questi dati e col tempo i rapporti dell'azione calorifica.

Sapendosi che, a parità di volume, il calorico specifico dell' aria è 0,000347 di quello dell'acqua preso per unità (§. 1038), e d'altronde essendo data la capacità della camera di legno e quindi il volume d'aria in essa contenuta e la densità propria in quello stato; si possono facilmente i risultati ottenuti da Bull tradurre in acqua riscaldata ad un certo grado di calore, e relativamente alla quantità di combustibile consumato in ogni sperienza.

(1) *Annales de physique et de chimie*, seconda serie, t. IV, 1917, pag. 269.

(2) *Transactions of the American philosophical Society*, nuova serie. Filadelfia 1826.

1143. L'effetto calorifico dei combustibili si suole esprimere in chilogrammi impiegati ad innalzare d'un grado centesimale un metro cubo o mille chilogrammi d'acqua. Moltiplicando per 100 quell'espressione, si ottiene tosto la quantità di combustibile necessaria per portare da zero all'ebollizione un metro cubo d'acqua. Quando questa abbia già un dato calore, per es. quello di 15 gradi, allora si moltiplicherà soltanto per 85 il numero dato di chilog. di combustibile per ottenere l'eguale effetto.

Alcuni scrittori francesi hanno adottato un grammo per l'unità dell'acqua da essere riscaldata d'un grado centesimale; e il calorico necessario a produrre quest'effetto venne denominato *caloria,* che sarebbe l'unità scientifica per le valutazioni delle sorgenti in generale. Ma conoscendo il numero di calorie ed anche se si vuole il tempo necessario a produrle, non si può nella pratica ritrarre profitto quando non si abbia altro dato. Il potere riscaldante del carbon fossile purificato o *cocke* è secondo Bull di 6500 calorie, mentre quello del carbone di legna secondo Lavoisier risulterebbe di 7300. Qui s'intende eguale quantità dei due combustibili e, nel presente caso, quegli effetti sarebbero prodotti da un grammo dell'una e dell'altra materia consumando ciascuna 2,655 d'ossigeno. Il manifattore però, anche con quest'ultimo dato, non può ritrarre pei suoi bisogni grande utilità pratica, senza alcune operazioni di calcolo per lui imbarazzanti. Se invece i rapporti del potere riscaldante di quei due combustibili sono notati coi numeri 0,1984 e 0,2736, che esprimono in chilogrammi la quantità necessaria dei medesimi ad elevare di 1 grado un metro cubico d'acqua; egli viene subito a sapere che si richieggono chilogrammi 19,84 dell'uno e chilogrammi 27,36 dell'altro per riscaldare di 100° il metro cubico d'acqua, e rispettivamente chilogrammi 17,856, 24,624 per riscaldarla soltanto di 90°, ossia portarla all'ebollizione quando abbia già la temperatura di 10°. Per avere poi il peso dei due combustibili necessario a ridurre quell'acqua in vapore non ha che a moltiplicare per 550+100 o per 650 i numeri 0,1984 e 0,2736 quando l'acqua sia a zero gradi, e per 550+85=635 quando abbia 15° di temperatura. Per multipli e per le frazioni di metro cubo d'acqua poi da riscaldarsi nei diversi casi, non ha che a prendere nell'eguale proporzione i risultati ottenuti nella maniera su indicata, onde conoscere le quantità dei combustibili, che devono essere impiegati a produrre i relativi effetti.

Il calorico sviluppato dai combustibili è stato valutato dal lato scientifico, indagando la quantità d'ossigeno dai medesimi consumato

nell'abbruciare per produrre un effetto determinato. Esamineremo più avanti questa maniera di valutazione.

1144. Si è veduto che il nostro globo in ciascun istante irradia calorico negli spazi del firmamento (§. 1132). Per questa incessante irradiazione andrebbe sempre più raffreddandosi se non vi fossero delle sorgenti, che riparassero alle perdite ch'esso va facendo e mantenessero alla sua superficie quella temperatura media necessaria alla vegetazione ed alla vita di tanti esseri da cui è abitata. Le quattro sorgenti di calorico annoverate servono in diversa maniera a compensare il raffreddamento, che la terra va continuamente provando, ed a mantenere l'equilibrio della sua temperatura.

Non vi ha chi non conosca nel sole la principale causa, che riscalda il pianeta da noi abitato, e da cui tanto la natura vivente quanto la bruta ricevono anima e moto. Gli animali, sotto l'azione vivificante dei raggi solari, prendono nuova lena e nuovo vigore durante le rigide giornate jemali e parecchi di essi, al ritorno della stagione estiva nella quale il sole fa sentire con maggior energia il suo benefico influsso, si riproducono e danno vita a nuovi individui per la propagazione delle specie. I vegetali riprendono le loro funzioni tosto che dal sole è reso più temperato l'aere al comparire la bella stagione, e preparano per tal modo nuovi alimenti e nuovi prodotti a profitto del regno animale, e nuovi materiali alle arti ed all'industria. In virtù del rinvigorito calore solare, la natura inorganica si prepara a nuove composizioni ed a nuove modificazioni della materia, che riescono utili alla società. I ghiacci e le nevi si sciolgono sui monti e provedono nuove acque a profitto dell'agricoltura e della navigazione. Le acque stesse si convertono in vapore per radunarsi in nubi e poscia condensarsi in pioggia, che ristorano le inaridite campagne e danno nuovo alimento ai fiumi. I minerali subiscono delle trasformazioni per l'azione di forze, che prendono vigore sotto l'influenza del calore. Tutta la natura insomma riceve vita e moto dal calore; laddove tutto diverrebbe assiderato e morto, quando mancasse l'azione benefica di quella sorgente calorifica. Si è veduto a quanto possa essere valutato il calorico, che il sole annualmente versa sulla terra (§. 1137).

1145. Non si hanno osservazioni dirette a dimostrare che molti altri astri, splendenti nel firmamento come sono le stelle fisse, siano sorgenti di calorico. Tuttavia si ammette per analogia che, unitamente al fluido luminoso, irradiino anche calorico, il quale non riesce sensibile ai più delicati strumenti per l'immensa distanza, cui trovansi dal nostro pianeta (§. 741).

La luna, che è infinitamente più vicina alla terra ed illuminata dal sole, sembra che dovrebbe inviar unitamente a luce anche calorico. Parecchi fisici in diversi modi e in diversi tempi tentarono infruttuosamente, con grandiosi specchi concavi e con potenti lenti ustorie, di concentrare la luce lunare sui termactinometri i più squisiti per osservare se si aveva qualche indizio sensibile di calore (1). Melloni, ultimamente, con una grande lente polizonale (§. 803), sarebbe giunto a concentrare i raggi lunari sopra il termactinometro elettrico ed a riconoscere qualche segno di calore (2). Il calorico, inviato sulla terra da tutti gli altri astri del firmamento, sia per irradiazione propria sia per riflessione, è di sì poco momento che, secondo i calcoli di Fourier nell'opera altrove citata, il nostro pianeta sarebbe posto nella stessa condizione come se fosse immerso in un mezzo alla temperatura di —50 a —60 gradi centesimali, e secondo Poisson a —52°. Arago, prendendo in considerazione i freddi osservati da alcuni viaggiatori nelle regioni polari, opina che la temperatura degli spazi celesti dev' essere necessariamente minore di —57° (3). Questa temperatura è molto superiore a quella che costituisce lo zero assoluto o la totale esclusione di calorico (§ 1012). Se dunque quelle regioni, senza l'influsso del sole, si mantengono ad una temperatura molto superiore all'assoluta mancanza di calore, bisogna ben dire che anche gli altri astri e corpi sparsi nell'universo irradiino sul nostro globo qualche piccola frazione di calore, e che quindi, rispetto a noi, debbono essere ritenuti come debolissime sorgenti di quell' agente imponderabile.

A tutte queste fonti naturali si aggiunga il calore centrale del globo (§. 1131), di cui si provano gli effetti a misura che ci sprofondiamo nelle viscere della terra. Da alcune osservazioni fatte (4) si ammette che l'aumento di calore sia di 1 grado centesimale ogni 25 in 40 metri di profondità. Si ritiene generalmente che questa sorgente provenga da un residuo di quel calorico, di cui, secondo parecchi naturalisti, era investita la nostra terra alla sua origine. Imperocchè questi suppongono che il pianeta da noi abitato fosse, al principio della sua formazione, una massa fusa di materia, la quale, per le continue perdite, si è raffreddata e rassodata alla superficie, conservando verso il

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VII, pag. 64.

(2) Si vegga l'opera di lui: *La termocrosi* ecc., pag. 251 nella nota.

(3) *Comptes rendus de l'Academie des sciences*, n° 24 del 1856, pag. 575.

(4) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, serie prima, t. I, pag. 270.

centro quel calorico originario per la poca facoltà conduttrice degli strati superiori, donde nei climi freddi si dirige verso la superficie e ne rattempra in qualche modo la rigidità. Secondo i calcoli del su citato Fourier, l' effetto di questa sorgente alla superficie terrestre è tale da produrre $^1/_{30}$ di grado centesimale.

1146. Allorquando le fonti naturali ed immediate di calorico, e principalmente il sole, non si trovano in circostanze da somministrarci la quantità bastante a supplire le perdite, l'industria dell'uomo ricorre alle sorgenti artificiali, fra le quali si annovera quella di cui si fa uso di mezzi meccanici.

Per comprendere donde abbia origine il calorico, che si sviluppa con questi mezzi, bisogna rammentare che la rarefazione prodotta dallo stesso agente aumenta nei corpi il loro calorico specifico (§ 1038); ed è quindi naturale il conchiudere che, ricondensando con qualche forza gli stessi corpi dilatati dal calorico, deve questo svilupparsi e divenire sensibile. Si può avere una prova dell' assorbimento di calorico nella rarefazione dei corpi, esperimentando coi fluidi aeriformi, che si dilatano per la loro espansibilità, col sottrarli alla pressione. Esponendo un termometro nel recipiente, dove l'aria viene rarefatta colla macchina pneumatica, il fluido rimanente si dilata, assorbe calorico che è indicato dal termometro in essa immerso. Siccome l'abbassamento del mercurio nel termometro potrebbe provenire dall'ingrandimento del suo bulbo in causa della prevalenza della pressione interna del liquido su quella esterna dell'aria; così è meglio servirsi del termometro metallico a spirale (§. 1006), col quale si manifesta pure nella rarefazione l'abbassamento di temperatura e dimostra senza alcun dubbio l'assorbimento di calorico, che ha luogo nella rarefazione dei corpi. Lo stesso effetto si ottiene anche operando sopra qualunque altro fluido espansibile; sicchè il fenomeno si deve risguardare generale. Robinson vuole che l'aria, il cui volume si è accresciuto di un terzo, subisca un raffreddamento da 10°,5 ad 11°1.C (1).

Si ha egual effetto condensando previamente l' aria od altro fluido aeriforme in un pallone, dove si è collocato il termometro : dopo avergli dato tempo a prendere la temperatura dell'ambiente, si apre la chiavetta del pallone e si lascia sfuggire il fluido. In tal modo la porzione che rimane si rarefa e fa abbassare di qualche grado il termometro. Quando al tubo della chiavetta è applicato un cannellino capillare di vetro, si ha un soffio esilissimo d' aria, che si rarefà al

(1) *Mechanical Philosophy*, t. II, pag. 166.

momento che entra nell'atmosfera. Esponendo il bulbo d'un termometro a questo soffio, prova gli effetti della rarefazione del fluido e coll'abbassamento di qualche grado dà segni manifesti dell'assorbimento di calorico. L'effetto della rarefazione riesce sensibile alla mano che si espone al soffio di quella corrente. L'assorbimento di calorico è in tale quantità che, se il bulbo contiene dell'acqua, questa si raffredda e giunge a gelare. Nelle miniere di Schemnitz in Ungheria s'innalza l'acqua mediante la forza elastica dell'aria grandemente condensata. Quest'aria, uscendo da un buco praticato nel recipiente dove si contiene a quello stato di condensazione, riprende il primitivo volume nell'atmosfera ed assorbe tanto calorico dal fluido circostante che il vapore acqueo sparso in esso si congela, ed un solido esposto a quel getto fluido si copre di piccoli ghiaccioli somiglianti alla neve (1). L'aria agitata dai venti o da altre cause, venendo sollevata nelle regioni superiori dell'atmosfera, si rarefa, assorbe calorico e rende più rigido lo spazio dove si trova. Da questi principii si comprende il carattere fisico, che distingue i due vocaboli: il *fiato che riscalda*, il *soffio che raffredda*. Nel primo l'alito viene emesso dalla bocca alla stessa densità dell'atmosfera e comunica al corpo, su cui è diretto, il calore del corpo umano che è di 35° centesimali; nel secondo l'alito condensato è emesso pure dalla bocca e giunge sul corpo all'atto che si rarefa, per cui assorbe calorico e genera freddo.

Nella rarefazione dei corpi liquidi e solidi non si può rendere manifesto l'assorbimento di calorico; perchè non si hanno mezzi meccanici per rarefarli. Ma l'induzione ed alcuni fatti indiretti provano che anche quei corpi nel rarefarsi assorbono calorico. Riunendo questi fatti intorno all'assorbimento di calorico nella rarefazione cogli altri relativi al cambiamento di stato (§§. 1014 e 1015), possiamo stabilire che *i corpi, venendo rarefatti o passando da uno stato ad altro meno denso, assorbono calorico*, pel quale vien meno in loro la coesione.

1147. Se i corpi nel rarefarsi ammettano in se maggior calorico, è naturale che ricondensandoli lascieranno libero il calorico assorbito e diventeranno così una sorgente di calore. L'aria infatti condensata sviluppa abbastanza calorico da accendere l'esca, la polvere pirica ed altre materie, quando abbiavi il mezzo per alimentare la combustione. Il *battifuoco pneumatico* è un congegno, col quale si accende l'esca mediante il calorico sviluppato nella compressione dell'aria. Esso

(1) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli, t. I, pag. 428.

consiste in un tubo di metallo o di vetro ben calibro (fig. 249), chiuso all'estremità dal tappo A, assicurato con una viera in modo da poterlo levare al bisogno. In esso entra esattamente lo stantuffo S, il quale ha inferiormente la cavità *a* per collocarvi l' esca e superiormente si congiunge all' asticella SB. Colla mano applicata su B si spinge celeramente lo stantuffo, l'aria nel cilindro è compressa e sviluppa tanto calorico da accendere l'esca.

Sviluppano pure calorico gli altri fluidi elastici compressi nell'egual modo; ma non ha luogo la combustione se il fluido medesimo non è capace di sostenerla. Quando è l'aria o l'ossigeno, si osserva a traverso la parete di vetro una luce sensibilissima. Si credeva per l'addietro che essa venisse sprigionata dai corpi nello stesso modo che si sprigiona il calorico, e che quindi si trovasse latente nella materia al pari di questa sostanza imponderabile. Le indagini fatte da Thénard hanno dimostrato che il chiarore in quei casi è dovuto alla combustione delle materie appositamente od accidentalmente unite allo stantufo. Imperocchè, quando si ha la diligenza di escludere gli olii ed altre materie combustibili per ottenere l'esatto combaciamento dello stantufo col tubo, non si ha alcuna comparsa di luce nè coll'aria nè coll'ossigeno (1). Gli stantufi erano fatti di feltro senz'unto ed inzuppati d'acqua, che guarentiva dal contatto dei gas mediante dischi e piastrelle di metallo. Il tubo era ben pulito ed asciugato colla potassa. Quando lasciava qualche untuosità nel tubo compariva un debole chiarore. Colla compressione dell'ossigeno accese dei frammenti di legno ben secco e di carta. Col cloro non presero fuoco nè l'una nè l'altra di quelle materie.

1148. I metalli battuti col martello, compressi sotto il conio nelle zecche per improntare le monete, tirati alla trafila, passati sotto il laminatoio diventano più densi, emettono calorico e si riscaldano. Sotto la percossa sembra che i metalli più duri sviluppino maggior calorico di quelli che lo sono meno. A pari circostanze infatti lo stesso numero di colpi di martello riscalda di più il ferro del piombo, di più l'acciaio del primo metallo. Nell' ultimo il riscaldamento prodotto colla battitura può essere aumentato sino all'arroventamento. In quest'operazione si svolge tanto calorico da accendere i solfanelli, l'esca ed altre materie combustibili. Ciò che è notabile si è che, battendo il piombo sull'incudine con replicati e spessi colpi di martello, si giunge anche a fonderlo. In tutti questi fenomeni vi deve aver

(1) *Annales de chimie et de physique* 1830, t. XLIV, pag. 481.

parte, oltre la conducibilità, eziandio la capacità dei corpi pel calorico.

La condensazione avendo un limite, interessava di sapere se i corpi, pervenuti alla massima densità, sviluppino ancora calorico quando siano di nuovo battuti. Da alcune sperienze istituite pare che i fatti si accordino colla teorica. Berthollet in unione a Biot e Pictet si sono assicurati che nella compressione, prodotta da un robusto conio della zecca, il rame e l'argento, mentre svolgono molto calorico sotto al primo colpo, ne sviluppano meno al secondo ed ancor meno al terzo. Verificarono inoltre che, dopo aver raggiunto le molecole il massimo riavvicinamento da non conservare quei metalli uno stato permanente sotto una nuova compressione, il colpo anche il più violento del conio non produceva più in essi veruno sviluppo di calorico. A questo punto di condensazione i metalli si diportano in maniera analoga ai liquidi, i quali battuti non emettono calorico. Quei metalli, sotto l'azione d'una forza così potente, erano probabilmente ancora compressi come si comprimono i liquidi; ma, riprendendo essi tosto il volume primitivo, il calorico, che si sviluppa nell'istantanea condensazione, è assorbito nella dilatazione che immediatamente ne segue. Notiamo infine che, in alcuni cimenti di questa specie, Colladon e Sturm credono d'aver ravvisato qualche indizio di sviluppo di calorico nella compressione dell'acqna, dell'alcoole, e dell'etere solforico (1).

1149. Dei mezzi mecanici lo sfregamento è quello che somministra maggior calorico. Il legno sfregato contro se medesimo si riscalda, si carbonizza ed abbrucia ben anche con fiamma, quando si operi con celerità. Si raggiunge quest'effetto con un cilindro di legno di noce, di quercia, d'olmo od altro legno forte, che è lavorato alle estremità in punta smussata ed ha praticato verso il mezzo una cavità per avvolgervi la funicella dell'archetto del trapano. Assicurando ad un oggetto irremovibile l'assicella d'altro legno in una cui cavità entra il capo del cilindro rastremato, si preme questo per l'altro capo e si fa vivamente ruotare mediante l'archetto, come quando si opera colla saetta del trapano. Il cilindro in quel moto sfrega colla sua estremità l'assicella e ben presto le parti sfregantisi cambiano di colore, spandono un odore empireumatico e s'infiammano. In modo consimile i popoli selvaggi si procurano il fuoco. Gli abitanti di molte isole dell'Oceano non conoscevano nè ferro nè altro metallo all'incominciare del secolo decimottavo, e forse in alcune di esse non si conoscono

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. XXXVI, pag. 225 e seg.

anche attualmente. Non si sa come ottengano il fuoco, ma pare che come gl'Indiani lo suscitino dal legno. Ho veduto ad accenderlo dagli Indiani dell'isola *Bon-aria* e ne ho fatto io stesso la prova. Prendono un'assicella e vi praticano da una parte una cavità, ed inoltre un pezzo di legno tondo duro ed appuntato da un capo, che introducono nella cavità dell'assicella e lo fanno girare rapidamente fra i palmi delle mani. In tal modo i due legni si sfregano, spandono fumo ed alfine si accendono (1). Allo sfregamento del legno contro se stesso alcuni vogliono attribuire l'origine d'incendi fortuiti d'intere foreste. I rami degli alberi, nella calda stagione violentemente agitati dai venti oraganosi, si sfregano, sviluppano calorico e si accendono, propagando l'incendo agli altri alberi della foresta (2). Quest'ipotesi richiede la condizione che i rami degli alberi agitati siano secchi.

Le funi di canapa, le stoffe di lana, la carta ed altre materie poco conduttrici pel calorico, strofinate colla mano o contro se stesse, si riscaldano notabilmente. Quando la fune è avvolta ad un cilindro di legno e si strofina rapidamente sul medesimo, lo sviluppo del calorico produce ben anche l'infiammazione. La carta sfregata sviluppa calorico bastante ad accendere il fosforo. Si mette un pezzetto di questa materia fra un foglio ripiegato di carta di certa consistenza, si sfrega superiormente col manico di legno d'un coltello o altro corpo somigliante; la carta si riscalda e il fosforo s'infiamma. È collo sfregamento che si accendono i comuni solfanelli fatti con fosforo e clorato di potassa.

Davy ha stropicciato l'uno contro l'altro due pezzi di ghiaccio in un ambiente di alcuni gradi di temperatura al disotto dello zero, e dalla parte strofinata erano liquefatti. Due pezzi di cristallo di rocca o d'altra materia poco conduttrice si riscaldano sfregati nello stesso modo; e quando lo sfregamento è accompagnato da violenta percossa vi ha sviluppo di calorico accompagnato da luce, la quale sembra dipendere dall'accensione di sostanze combustibili aderenti a quelle materie.

1150. Non solo i cattivi, ma anche i migliori conduttori svolgono calorico nello sfregamento. Le lime, i succhielli, le seghe, i punteruoli ed altri strumenti delle arti si riscaldano nei lunghi e continuati lavori, non potendone talvolta la mano sopportare il calore di cui s'in-

(1) *Biblioteca universale dei viaggi per mare e per terra* ecc. Venezia 1834, t. I, pag. 367.

(2) Muschenbroek. *Introd. ad Philos. Nat.* §. 1619.

vestono. Il riscaldamento ha luogo non solo quando lo sfregamento succede contro qualche corpo poco conduttore, ma eziandio contro altri metalli, e le lime come altri attrezzi si riscaldano operando sopra oggetti metallici. Una prova sorprendente del calorico svolto in quest'ultima maniera, si ha colla lega di antimonio e ferro; la quale si ottiene fondendo l'antimonio in un crogiuolo ed aggiungendovi due parti in peso di ferro in laminette. Assicurando un pezzo di questa lega con una morsa, si comprima fortemente e si sdruccioli su di essa con una lima grossa e nuova, nello stesso modo che si opera nel digrossare i metalli. Ad ogni colpo di lima si distaccano delle particelle metalliche scintillanti di fuoco, le quali abbruciano le materie combustibili su cui cadono (1).

Nello sfregamento si può fondere il metallo come nella percossa. Si formi una lega con una parte in peso di piombo ed altrettanto di bismuto, che si amalgama con una parte di mercurio mediante la fusione. Sfregando l'una contro l'altra due verghe formate di quel composto, esse si fondono nelle parti sfregate. L'esperienza riesce ancor meglio colla lega fatta di 103 di piombo, 59 di stagno e 142 di bismuto; che si fonde alla temperatura minore dell'ebollizione dell'acqua.

1151. Abbiamo già osservato che nello sviluppo di calorico mediante lo sfregamento vi deve avere influenza la conducibilità e la capacità. Morosi, relativamente alla prima, ha trovato che, venendo sfregati collo stesso legno parecchi metalli, il piombo sviluppa più calorico essendo meno conduttore degli altri. Risulta eziandio dalle sue sperienze, che lo svolgimento di calorico aumenta colla velocità dello sfregamento e in un rapporto maggiore colla pressione. Egli è giunto col calorico, che si sprigiona mediante una tale operazione mecanica, a far bollire l'acqua ed a trasformarla prontamente in vapore, ed a fondere anche lo stagno (2).

Pictet istituì pure alcune sperienze sullo stesso soggetto. Faceva egli girare un emisfero di metallo sul proprio asse, che sfregava con diverse materie, mentre un termometro, collocato nella parte cava dell'emisfero, ne segnava la temperatura. Da questi sperimenti risulta che il calore, indicato dal termometro, varia secondo la qualità delle materie che sfregava coll'emisfero (3). Adoprando una cop-

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences* di Parigi, vol. del 1736, pag. 598.
(2) *Memorie del R. Istituto.* Milano 1824, t. III, pag. 157.
(3) *Essai de physique* succitato pag. 179 e seguenti.

pia termelettrica invece del termometro, Becquerel ha trovato che il corpo scabro si riscalda di più dell'altro liscio con cui è sfregato: così due dischi di vetro sfregati l'uno contro l'altro, quello smerigliato si riscalda di più dell'altro liscio: lo stesso è di due dischi di sovero. Quando le materie sono eterogenee, allora si ha un effetto inverso: due dischi, l'uno di vetro liscio e l'altro di sovero, si riscaldarono nel rapporto di 34 : 5, e di vetro smerigliato e sovero di 40 : 7, d'argento e sovero come 50 : 12, di gomma elastica e sovero come 29 : 11 (1).

1152. Il calorico si sviluppa eziandio nello sfregamento dei gas contro i solidi. Infatti Gay-Lussac, introducendo per un'apertura una corrente d'aria in un recipiente, ha trovato che questo fluido non diminuisce di temperatura quantunque si dilati nell'uscirne per altra apertura. Ha verificato altresì che l'aria, lasciata entrare in un pallone vuotato colla macchina pneumatica, produce un'elevazione di temperatura di parecchi gradi. Dal primo di questi fatti si deduce che, nello strofinamento di quel fluido contro le pareti, vi ha produzione di calorico, il quale è tanto più grande quanto è maggiore la velocità della corrente e compensa il raffreddamento prodotto in virtù della rarefazione. Il secondo fatto conferma la spiegazione del primo, in quanto che l'innalzamento di temperatura è prodotto dallo sfregamento dell'aria contro le pareti del pallone dove rientra e, mettendosi alla stessa densità dell'aria esterna, non vi ha per questa parte assorbimento di calorico.

Qualche fisico ha supposto che l'elevazione di temperatura, manifestatasi nel secondo fatto, fosse prodotta da calorico diffuso nello spazio vuoto. Quest'ipotesi oltre essere contradetta dall'incoercibilità del calorico, è smentita dalla seguente sperienza. Si riempia di mercurio un largo tubo che, capovolto come nell'esperienza di Torricelli, lascia superiormente uno spazio vuoto, dove è collocato un delicato termometro. Facendo ascendere o discendere il mercurio con un movimento subitaneo e conveniente del tubo, si diminuisce o si accresce lo spazio vuoto, e per quante volte l'esperienza siasi ripetuta dallo stesso Gay-Lussac, giammai non si manifestò indizio di variazione di temperatura (2).

1153. Nello sfregamento ha realmente luogo lo sprigionamento di calorico in causa dell'accresciuta densità dei corpi, come avviene colla compressione e colla percussione? L'aumento di densità, nello

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. LXX, pag. 524.

(2) Gli stessi *Annali*, stessa serie, t. XIII, pag. 304.

strofinio dei corpi, è di sì poco momento che non siamo indotti ad attribuire a questa causa sola la quantità considerabile di calorico, che in alcuni casi si manifesta. I fenomeni prodotti dallo sfregamento si spiegano facilmente col sistema delle ondulazioni e trovano ostacoli insormontabili in quello dell'emissione. Vi sono dei casi in cui lo svolgimento di calorico è in tale quantità, che non può assolutamente essere attribuita alla diminuzione di capacità avvenuta nei corpi sottoposti allo sfregamento, fra i quali va in prima linea il seguente sperimento di Rumford.

Egli dispose verticalmente un cannone di bronzo colla bocca rivolta verso l'alto, e lo riempì d'acqua. V'introdusse poscia la saetta di un gran trapano, il quale premeva con forza contro il fondo del cannone e faceva girare rapidamente. In capo di due ore furono distaccate dal pezzo d'artiglieria chilogrammi 0,2683 di succhiellatura o di metallo ridotto in minutissimi frantumi, e il calorico, che venne generato, era capace di innalzare la temperatura di chil. 11,78 d'acqua dallo zero a 100°. Ammettiamo pure che nella pressione della saetta del trapano si avesse un grande condensamento, questo non basta a spiegare lo svolgimento di quantità così notabile di calorico, se si riflette che la succhiellatura conserva presso che la stessa capacità pel calorico. Per questo e per altri fatti, principalmente del calorico irradiante, sembra che debbasi dare la preferenza al sistema delle ondulazioni, come si è altrove notato (§. 960 e 1057). Molti altri fatti però, difficili a concepirsi con questo sistema, ci hanno indotto, senza rinunciare ad esso, ad usare un linguaggio più corrispondente agli effetti e più proprio a facilitarne il concepimento.

1154. Dalle dottrine esposte, intorno allo sviluppo del calorico con operazioni mecaniche, traggono spiegazione alcuni fenomeni ed effetti, che s'incontrano spesso nella società e nelle arti. I contadini e gli uomini del popolo si procacciano calore nelle rigide giornate del verno battendosi il corpo colle mani e colle braccia; ed è molto generalizzato l'uso di sfregare rapidamente le mani per riscaldarle e dissipare la rigidezza cagionata da un intenso freddo. Gli animali sono riscaldati collo strofinamento ed è loro levato quel rigido torpore prodotto dal freddo. Nella terapeutica si prescrivono le fregagioni in quelle parti del corpo dell'ammalato, che abbisognano calore, o per promuovere la traspirazione cutanea o per togliere l'assideramento avvenuto in virtù del freddo o di altra causa. La pelle del tamburo a lungo battuta si riscalda, come si riscalda il cuoio del calzolaio disteso con colpi di martello.

I fabbri-ferrai si procacciano fuoco battendo sull'incudine qualche pezzo di ferro. Nell'acciarino l'esca è accesa da esilissime particelle d'acciaio infuocato dal calorico ottenuto colla percussione. Si è acceso anche il carbone umido girando rapidamente una ruota d'acciaio sopra la pietra silicea. Nell'egual modo i cavalli spandono delle scintille di fuoco, percuotendo coi ferri le pietre del lastricato. Appunto per questo motivo è vietato d'entrare nei magazzini e nelle polveriere coi calzari ferrati, affine di prevenire qualunque sinistro accidente.

I perni del torno e gli assi delle ruote, pel celere e continuato sfregamento entro le rispettive cavità e i rispettivi mozzi, si riscaldano e ben anche s'infiammano. Allo scopo di non andare incontro a simili perniciosi inconvenienti, si spalmano di sostanze grasse e si ungono con olii le parti sfregantisi. Questi effetti si accrescono colla pressione e riescono quindi maggiori nei carri aggravati d'enormi pesi e nelle ruote delle grandi machine; per cui si è in tali casi che l'unto deve essere più di frequente applicato. Le macine dei mulini si riscaldano nell'egual modo, come si riscaldano le farine che risultano nella triturazione del grano. La mano si riscalda a segno, trascorrendo celeremente sopra una fune tesa da produrre degli effetti spiacevoli.

Non deve far meraviglia se l'orlo d'un disco di ferro, sfregando con celerità un pezzo d'acciaio, lo riscaldi a segno da levargli la tempra ed intaccarlo quantunque in origine più duro (§. 235).

Dopo aver veduto svilupparsi del calorico nello sfregamento dei gas contro i solidi, non è priva di fondamento la congettura di alcuni autori, i quali attribuiscono in parte il riscaldamento della palla lanciata dal cannone allo strofinio del metallo coll'aria. Gli aeroliti sono pietre meteoriche, che cadono dagli spazi del firmamento sulla nostra terra. Al momento che giungono sul suolo, manifestano un'elevata temperatura, dovuta con molta probabilità all'urto ed allo sfregamento continuo, che quei corpi provano nel solcare l'aria con grandissima velocità. La luce fuggitiva, che gli aeroliti lasciano dietro di sè lungo il cammino percorso, è cagionata da combustioni prodotte dal calorico svoltosi dallo stesso sfregamento.

1155. I processi fisici, considerati come sorgenti di calorico, si riferiscono principalmente alla liquefazione del vapore acqueo ed al rassodamento dell'acqua. Nel seguente capitolo ci occuperemo dell'elettrico sotto il rapporto di mezzo per riscaldare e produrre degli effetti calorifici.

Abbiamo detto che il vapore acqueo, essendo ricondensato in liquido, contiene tanto calorico da innalzare 5,5 volte in peso d'acqua

da zero a 100° (§. 1015). Per dimostrare questa verità s'istituisce la seguente esperienza. Nel vaso AB si versa l'acqua, che deve somministrare il vapore per mezzo dell'azione del fuoco attivato nel sottoposto fornello F (fig. 250). Nel coperchio di quel vaso sono praticati due fori, in uno dei quali è adattato il termometro T ed all'altro il lungo tubo *ab*, per cui il vapore passa nel serpentino *ef* e quindi nel recipiente o nella cassa di rame CD piena d'acqua sino ad una certa altezza. Questo recipiente riposa sopra un trepiede di legno ed è fornito d'un coperchio, al cui centro è assicurato il termometro *mn* a lungo bulbo cilindrico. Vi ha un altro foro laterale chiuso da un cappelletto munito di alcuni fori per lasciare sortir l'aria, che viene espulsa all'innalzarsi del liquido accresciuto colla condensazione del vapore. Lo scrimaglio EG è destinato a difendere la cassa dall'azione diretta del fornello.

Per mostrare come si valuta il calorico abbandonato dal vapore, che si unisce all'acqua contenuta nella cassa CD, si noti con M, $t$ il peso e la temperatura dell'acqua posta nella cassa medesima, con $m$ quello del vapore condensato, e con $\theta$ la temperatura del medesimo allo stato aeriforme, mentre T rappresenta quella dell'acqua dopo la sua mescolanza col vapore medesimo. È chiaro che $m(\theta - T)$ rappresenterà la quantità di calorico libero perduto dal vapore nel suo rimescolamento coll'acqua, ed $M(T-t)$ il calorico guadagnato da quest'acqua per la condensazione del vapore. Se non vi fosse sviluppo di calorico dalla liquefazione del vapore, la prima quantità dovrebbe eguagliare la seconda. Per riconoscere il calorico, che diventa libero nella liquefazione del vapore, si denomini con $x$ il numero dei gradi di temperatura, che un'unità in peso di vapor acqueo comunica nel condensarsi ad altrettant'acqua liquida; talchè sarà $mx$ la quantità di calorico emesso dalle $m$ unità di vapore liquefatto. La totalità dunque del calorico somministrato dal vapore sarà $m(\theta - T) + mx$, che dovrebbe eguagliare quello $M(T-t)$ acquistato dall'acqua, se non si dovesse tener conto del calorico assorbito dal metallo della cassa e del serpentino e dalla porzione di termometro in essa sommersa per esplorare il corso della temperatura. Si denomini pertanto con P il peso della materia del vaso, con C il suo calorico specifico, con $p$, $c$, le quantità analoghe del serpentino e con $p'$, $c'$ della porzione di termometro immersa. È chiaro che la quantità di calorico acquistata dalla materia del vaso sarà rappresentata da $PC(T-t)$, e da $pc(T-t)$ quella di cui si è impossessato il serpentino, mentre $p'c'(T-t)$ esprime l'altra guadagnata dal termometro. Si avrà dunque l'equazione

$m(\theta-T)+mx=(M+PC+pc+p'c')(T-t)$ da cui si ottiene facilmente il valore di $x$.

Diamo un esempio dell'uso di questa formola applicandola ad una esperienza, nella quale l'acqua riscaldata era $M=15,9563$ chilogr., il vapore condensato $m=0,2048$, la temperatura della prima avanti la mescolanza $t=22^\circ,0$, quella del secondo all'atto della sua formazione $\theta=100^\circ$, mentre la mescolanza stessa aveva la temperatura $T=29^\circ,6$. La cassa ed il serpentino erano di rame ed avevano il peso $P+p=3,1073$, il calorico specifico di questo metallo si sa essere $C=c=0,095$. Non si è tenuto conto della quantità di calorico assorbito dal termometro, per cui in questo caso è $p'=0$. Sostituendo questi valori nella formola precedente dopo alcune riduzioni si ottiene $x=601^\circ,50-70^\circ,42=531^\circ$. Da cui si imparerebbe che il calorico lasciato libero dal vapore è capace di elevare una quantità d'acqua eguale al proprio peso da zero a 531°, o ciò che torna lo stesso d'innalzare da zero a 100° tant'acqua equivalente a 5,31 il peso del vapore.

In questa specie di determinazioni, oltre tenere conto del calorico assorbito dalla capacità del termometro, bisogna fare le opportune correzioni per la perdita dell'irradiazione della cassa durante tutto il tempo necessario all'esperimento. È appunto per questa ragione che si è avuto un numero minore di quello altrove adottato (§. 1015). Con esperienze somiglianti ed eziandio con altri metodi si sono ottenuti da parecchi fisici dei numeri maggiori di 5 e minori di 6 di quell'unità (1). Il valore generalmente adottato è di 5,5 determinato da Gay-Lussac e più tardi da Clement e Desormes, e da qualche altro fisico. Laonde un'unità in peso, per es. un grammo, di vapore acqueo emette tanto calorico da elevare da zero a 100° centesimali grammi 5,50 d'acqua, oppure di elevarne d'un sol grado grammi 550, od un solo grammo a 550 gradi.

Si è indagato se il vapore sotto minori o maggiori pressioni contenga in sè altrettanto calorico che sotto la pressione atmosferica, dove ha la temperatura di 100°, e si è trovato che *un dato peso di vapore, al massimo di tensione, contiene la stessa quantità di calorico latente a qualunque pressione*, vale a dire a qualunque temperatura. Questo risultato non recherà meraviglia quando si rifletta alla grande differenza di volume, che prende il vapore sotto le differenti pressioni e le corrispondenti temperature cui si forma.

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. I, pag. 50.

1156. Nel rassodamento dell' acqua deve svilupparsi il calorico assorbito dal ghiaccio nel passare allo stato liquido. Abbiamo veduto che un chilogrammo di ghiaccio a zero diventa liquido, conservando la sua temperatura, assorbendo il calorico contenuto in altrettant'acqua a 79° (§. 1014). Per evitare la perdita di calorico, che succederebbe in questa determinazione prendendo l'acqua a quella temperatura, si può adoprarla di pochi gradi al di sopra di quella dell'ambiente e mescolarla con una piccola quantità di ghiaccio, affinchè con prestezza succeda la fusione. Infatti siano M, T il peso e la temperatura dell' acqua, $m$ quello del ghiaccio a zero e $t$ la temperatura della mescolanza dopo la fusione. È chiaro che $mt$ rappresenta il calorico libero guadagnato dal ghiaccio che si è trasformato in liquido, ed $M(T-t)$ il calorico perduto dall'acqua calda mescolata col ghiaccio. Se non vi fosse assorbimento di calorico nella fusione del ghiaccio, il primo prodotto dovrebbe eguagliare il secondo. Siccome poi il ghiaccio ne assorbe; così si denomini con $x$ la temperatura che un'unità in peso di ghiaccio richiede per essere fuso da altrettant' acqua, ed è chiaro che sarà $mx$ la quantità di calorico per fonderne $m$ unità. Sarebbe quindi $mt+mx$, calorico acquistato dall'acqua di fusione del ghiaccio, eguale ad $M(T-t)$, calorico perduto dall' acqua calda, non tenendo conto del calorico impossessatosi dalla materia del vaso e dalla porzione di termometro immersa nel liquido. Adottando le denominazioni del precedente paragrafo pel peso della materia del vaso e della porzione di termometro, e pei rispettivi calori specifici; è chiaro che il calorico abbandonato dalla materia del vaso sarà $PC(T-t)$ e quello somministrato dal termometro $pc(T-t)$. Dovrà quindi verificarsi l'equazione $mt+mx=(M+PC+pc)(T-t)$ da cui si ha il valore di $x$. È facile d'ottenere i dati per fare un'applicazione numerica di questa formola, dalla quale si ottiene $x=79$, tenendo conto del calorico perduto per irradiazione dall' acqua, quando si prenda di parecchi gradi superiore alla temperatura dell' ambiente e si operi con una massa di ghiaccio, che richiegga molto tempo nella fusione.

1157. Stabilito dunque in una maniera precisa il calorico, che si fa latente nell'acqua quando passa da solido in liquido e da questo in vapore, si hanno i dati per valutare il riscaldamento prodotto da una massa liquida riconsolidandosi e da una massa di vapore liquefandosi, ossia di valutare gli effetti del rassodamento dell' acqua e della liquefazione del vapore considerati come sorgenti di calorico. Imperocchè ogni corpo, nel riassumere il primitivo stato,

riassume eziandio il primitivo calore specifico, e la quantità ch'era stata assorbita ricomparisce per la diminuita capacità con tutti i caratteri di calorico libero.

L'acqua, avanti di congelare, può prendere delle temperature inferiori allo zero, in virtù di parecchie cause, come l'aria naturalmente annidata fra le sue molecole, lo stato di quiete o d'agitazione del liquido o dell'aria che riposa su di esso, e lo stato igrometrico di quest'aria. Essa può essere portata a 10 e sino a 12 gradi centesimali sotto lo zero senza gelare, e questo fenomeno ha luogo talvolta all'aria libera, e basta un lieve scuotimento per riconsolidarla in ghiaccio. All'atto stesso che avviene il riconsolidamento, il termometro, che ne segnava la temperatura, s'innalza di alcuni gradi e dà indizio manifesto di calorico divenuto sensibile. Allo scopo di mostrare il calorico che si sviluppa nel riconsolidamento, si prenda un tubo cilindrico di vetro chiuso ad un'estremità e della lunghezza di 14 in 16 centimetri e di circa 2 di diametro, e si riempia d'una soluzione ben satura (30 in 40 gradi dell'areometro) di solfato di soda. Dopo l'espulsione di porzione di liquido coll'ebollizione, si chiuda col fondere il vetro al cannello avvivatore. Le soluzioni saturate a caldo lasciano a poco a poco qualche deposito allorquando si raffreddano sotto la pressione dell'aria, ma nel vuoto la precipitazione non è così facile. Se dopo il raffreddamento si rompa l'estremità del filo di vetro tirato al fuoco, e si metta in tal modo l'interno del tubo in comunicazione coll'aria esterna, la soluzione, in causa della pressione atmosferica, si rassoda in massa e sviluppa tanto calorico che diventa sensibile anche al tatto. In dodici sperimenti sull'acqua di mare della densità di 1,0273, Despretz ne ha ottenuto il congelamento in termine medio a —2°,55.C, essendo salito il termometro a —1°,84 (1). Il solfo nel solidificare presenta un fenomeno di questa specie degno d'essere notato. Si sa che, mantenuto per qualche tempo in fusione, ha la proprietà di rimanere molle nell'acqua fresca. Posto in questo stato in una stufa alla temperatura di circa 98°.C, sviluppa nel riconsolidarsi una grande quantità di calorico in modo da innalzare il termometro a 110°. Quando il riconsolidamento ha avuto luogo, il termometro riprende la temperatura di 98° della stufa (2).

La fonte di calorico dell'acqua nel riconsolidarsi mitiga la rigidità dei climi freddi al giungere la stagione dell'inverno, e principalmente

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. LXX, pag. 1.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, prima serie, t. I, pag. 148.

nelle zone vicine al polo, dove immense masse d'acqua nell'agghiacciare sviluppano quei 79° di calorico, che contribuiscono a rendere meno intenso il freddo durante il congelamento. È per l'eguale ragione che anche fra noi succede spesso che una giornata rigida diviene temperata al momento che l'acqua in vapore nell'atmosfera si riconsolida in neve.

1158. Tutti i liquidi raffreddati giungono ad un punto in cui le molecole si riuniscono in masse solide. Il riconsolidamento delle materie liquide incomincia in generale alla stessa temperatura, cui ha principio la loro fusione. Vi sono però delle circostanze, che impediscono alle molecole di prendere la loro giusta posizione ed alla coesione il libero esercizio del suo vigore. Nei liquidi quindi, che passano allo stato solido, si osservano due condizioni analoghe a quella della fusione (§. 1014), cioè: I. *il riconsolidamento avviene ad una temperatura fissa e stabile per ogni corpo*, ch' è quella della fusione eccetto in alcune circostanze che la possano far variare; II. *tutto il calorico, divenuto latente nella fusione, riprende lo stato libero e si riproduce nel riconsolidamento.*

Il lieve scuotimento, prodotto anche da piccoli frammenti di materia gettati sulla superficie, facilita il gelamento dell'acqua, avvenendo un fenomeno analogo a quello della cristallizzazione dei sali. L'agitazione toglie le molecole dal loro stato d'inerzia e le aiuta a prendere la posizione più vantaggiosa alla loro mutua attrazione. Ed una volta che siansi formati i primi ghiacciuoli, questi sollecitano con maggior vigore le molecole contigue a ricongiungersi alla massa già riconsolidata.

Allorquando l' acqua gela alla temperatura zero, il rassodamento incomincia su parecchi punti, e il calorico, che si sviluppa nella riunione delle prime molecole, passa alle contigue, le quali si mantengono allo stato liquido pel tempo necessario alla dispersione del calorico ricevuto. Appunto per ciò nella massa d'acqua, vicina a congelare, compariscono alla superficie dei filamenti od aghi prismatici che aumentano di numero e s'intrecciano in mille maniere formando parecchi gruppi, che, al dissiparsi del calorico, si riuniscono e terminano a rassodarsi in una sola massa. La rapidità della congelazione dipende quindi dalla quantità di calorico latente che diventa libero e dalla facilità con cui può essere dissipato. Se la coesione agisse regolarmente senza essere disturbata da forze estranee, il solido prenderebbe allora delle forme determinate ed uniformi e presenterebbe il fenomeno della cristallizzazione (§. 47).

L'acqua che tiene in soluzione dei sali, come è quella di mare, gela in generale ad una temperatura minore dell'acqua pura. La mescolanza dei due liquidi, l'uno dei quali ha la proprietà di sciogliere una materia solida, può col raffreddamento lasciar in libertà porzione della materia stessa che apparisce nel liquido. Ciò si ottiene colla canfora pura sciolta in alcoole mescolato con più o meno acqua. Quanto più l'alcoole contiene dell'acqua, tanto meno canfora rimane sciolta. All'abbassarsi della temperatura, la canfora si riunisce in fiocchi, che nuotano nella massa liquida ed aumentano in volume al diminuire vieppiù il calore. Il punto della fusione dei corpi non è sempre in ragione della loro coesione: il platino, p. e., ha minor coesione del ferro e si fonde ad una temperatura molto più elevata; lo stesso si dica dell'oro, che ha minore coesione del rame e richiede maggior calore di quest'ultimo metallo per essere fuso.

1159. Si è veduto che l'acqua, diminuendo di temperatura, raggiunge il punto della massima densità (§. 965), al di là del quale sino al congelamento si dilata di nuovo e forma il ghiaccio che è meno denso del liquido da cui deriva. L'aumento di volume del ghiaccio si può valutare di $^1/_{14}$ del totale, il quale aumento cresce talvolta sino ad $^1/_8$ e diminuisce sino ad $^1/_{20}$ secondo lo stato di purezza dell'acqua (1). Da questo accrescimento di volume dell'acqua, nel passare dallo stato liquido a quello solido, dipendono i fenomeni seguenti: 1° I vasi di vetro, di terra e persino le bombe di ferro, riempiute d'acqua, che si fa poscia gelare, si rompono. Gli Accademici del Cimento fecero in tal modo scoppiare recipienti e sfere di vetro e di parecchi metalli, e si assicurarono della poderosa forza che si sviluppa nell'agghiacciamento dell'acqua (2), che da alcuni fu valutata a 13 mila e più chilogrammi; 2° Dipendono dalla stessa causa lo smuovimento del lastricato delle strade, la sfogliatura delle murature e dei mattoni, che prima del gelo erano imbevuti d'acqua; 3° Lo scoppio delle piante negli inverni molto rigidi si ripete dalla stessa cagione

Alcuni sali tengono unita allo stato solido una certa quantità d'acqua, che sembra indispensabile alla loro cristallizzazione e che perciò chiamasi *acqua di cristallizzazione*. I sali, che la contengono, sotto-

(1) Riguardo alla densità ed al coefficiente di dilatazione del ghiaccio alle diverse temperature, vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXI, pag. 72, e gli stessi, seconda serie, t. I, pag. 188.

(2) *Saggi di naturali sperienze* ecc. edizione su citata, pag. 79 e seguenti.

posti ad un conveniente calore, decrepitano, ciò che non si verifica negli altri detti per ciò *anidri*.

1160. La liquefazione del vapor acqueo come sorgente di calorico ha avuto un gran numero d'applicazioni nelle arti e nell'economia domestica. Primieramente diremo che il ritorno alla liquidità dei vapori incomincia tosto che loro si presenta una temperatura appena al disotto del grado d'ebollizione, per cui furono generati, rimanendo costante la pressione; oppure non variando la temperatura si accresca la pressione (§. 613), e ciò a differenza del riconsolidamento dove poco o nulla vi ha parte. D'altronde, rendendosi libero il calorico latente, possiamo dire che nella liquefazione dei vapori hanno luogo due condizioni corrispondenti a quelle dell'ebollizione (§. 1017), cioè: 1° *il ricondensamento del vapore in liquido avviene a temperatura fissa e stabile per ogni corpo, che è quella dell'ebollizione; 2° tutto il calorico latente, si riproduce nella stessa quantità e qualità di prima.*

Quando la pressione rimanga costante, la liquefazione è più o meno abbondante secondo che il calorico, divenuto libero, si dissipa con più o meno prestezza. Essendo quindi il vapore acqueo portato in uno spazio atmosferico od a contatto di un corpo a temperatura minore di quella, che richiede la sua tensione massima, esso passa in liquido (§. 614). Questo cambiamento dell'acqua, da vapore in liquido e talvolta da questo in solido, spiega la formazione di alcune meteore, come pure i fenomeni seguenti: i vapori dell'alito si rendono visibili quando entrano in un ambiente al di sotto di 13 gradi centesimali, dove vengono spogliati del calorico per cui si mantenevano in quello stato. Negli inverni rigidi il vapore, sparso naturalmente nelle abitazioni, viene a contatto coi vetri delle impannate, ivi si raffredda, passa in liquido e, per un'ulteriore sottrazione di calorico, si solidifica formando cristallizzazioni di varie figure, sulle quali ha scritto il Carena (1). Per l'eguale ragione i corpi si vestono d'una specie di rugiada quando sono alla temperatura inferiore di alcuni gradi a quella dell'aria, e la deposizione è tanto più abbondante quanto più è grande la differenza di temperatura. In questi come in altri fenomeni consimili succede lo stesso effetto, che si riscontra nell'esperienza con cui si è cercato di valutare l'umidità dell'aria (§. 635).

1161. Il metodo di *scaldare a vapore*, consiste nel rinchiudere in

(1) *Memoria della R. Accademia delle scienze di Torino* per gli anni 1813, 1814, t. XXII, pag. 56.

una caldaia di rame una determinata quantità d' acqua, la quale si eleva alla temperatura dell'ebollizione con combustibili fossili, legna o carbone comune. Il vapore, che va continuamente formandosi ad un fuoco ben mantenuto, è guidato per condotti in recipienti o in istufe apposite dove, alla bassa temperatura dell'ambiente, si trasforma in liquido emettendo il calorico, che ha portato con sè allo stato latente. Si riscaldano in tal modo le pareti della stufa o dei recipienti, per le quali il calorico si comunica all'aria circostante e passa in parte anche sotto forma irradiante nello spazio da essere riscaldato. Quando si tratta di riscaldare dell'acqua, il vapore è condotto in questo liquido dove, condensandosi, deposita il calorico che aveva latente. È in questa maniera che si riscalda l'acqua delle caldaiuole per trarre la seta dai bozzoli nelle *filande a vapore.* Nel riscaldamento delle serre, dei teatri, degli ospedali, degli stabilimenti industriali, degli appartamenti, il vapore si condensa in recipienti nella prima maniera. È stato applicato eziandio a cuocere le vivande colle cucine a vapore, e a riscaldare diverse materie nelle officine dell'industria: in questi casi il vapore circola all' intorno delle pareti esterne dei vasi, dove si contengono le materie che devono ricevere il calorico.

Per avere un'idea del calore, che sarebbe comunicato ad un dato volume d'aria da un peso parimenti dato di vapore acqueo, rammentiamo che a parità di volume l' acqua è 2882 volte più capace pel calorico dell'aria (§. 1038). Ora un chilogrammo di vapore nel liquefare eleva, da zero a 100°, chilogrammi o decimetri cubi 5,5 d'acqua (§. 1155) o decimetri cubi 15851 d' aria, oppure è capace di riscaldarne, soltanto a 10°, decimetri cubi 158510 o metri cubi 158,51.

L'innalzamento di temperatura di metri cubi 158,51 d'aria, prodotto dalla liquefazione d'un solo chilogrammo di vapore acqueo, sarebbe effettivo se tante cause non concorressero a disperdere il calorico emesso. Si dica lo stesso per riscaldare col vapore acqueo delle materie solide e liquide; per cui la quantità di calorico effettivo non eguaglia mai quella determinata dal calcolo. Negli apparati, per iscaldare mediante il vapore acqueo, importa quindi di far conoscere la forma più conveniente della caldaia, dove si genera il vapore, e l'estensione superficiale dei tubi e delle pareti proporzionali alla quantità d'aria o di materia da essere riscaldata ad un grado di calore dato.

1162. La caldaia deve avere la forma più propria a produrre la maggior quantità di vapore col minor consumo di combustibile, essere fornita di quegli ordigni destinati ad impedire una tensione ec-

cedente e non richiedere d'altronde una particolare attenzione nel regolamento del fuoco senza timore di effetti disastrosi. Il ferro e il rame sono i metalli più convenienti per le caldaie destinate a riscaldare col vapore. La forma delle caldaie comuni consiste in una specie di cassa rettangolare, col coperchio e il fondo semicilindrico. In alcune manifatture le caldaie hanno anche la forma sferica o quasi sferica. Il fondo deve avere una certa grossezza ed un'estensione sufficiente per offrire all'acqua il maggior numero di punti possibili da essere riscaldati dal fuoco.

Il fumo, avanti d'uscire nell'atmosfera, sia diretto in modo che depositi sulla caldaia tutto il calorico, che lo costituisce alla temperatura superiore a quella del vapore. D'ordinario nelle macchine ad alta pressione il fumo è diretto a riscaldare l'acqua disposta per alimentare le caldaie del vapore.

L'acqua nella caldaia sia in quantità sufficiente per evitare un'evaporazione troppo rapida, e quindi il pericolo d'una tensione eccedente e l'esplosione. D'ordinario si empisce la caldaia per metà; una quantità di molto eccedente richiederebbe maggior tempo e temperatura molto elevata per l'evaporazione, e quindi una grande perdita di calorico per irradiazione. Per evitare poi un'istantanea e copiosa evaporazione, prodotta dal contatto dell'acqua col metallo rimasto a nudo, si usa di dividere la caldaia in due eguali capacità, mediante un diaframma orizzontale munito di aperture e di tubi, che mettono in comunicazione le capacità medesime. L'inferiore è esposta direttamente all'azione del fuoco e tenuta continuamente piena d'acqua in un alla metà circa della superiore. Un idrometro a galleggiante indica sopra un quadrante ad ogni istante il livello dell'acqua nella capacità superiore. Due valvole di sicurezza a pressione, ed una piastra fusibile sono unite al coperchio: quest'ultima supplisce alle prime nel caso che per qualche ostacolo ne venisse impedita l'apertura e il vapore prendesse una temperatura capace a dargli una tensione pericolosa. Un manometro a mercurio fa inoltre conoscere la tensione del vapore, la quale nelle macchine delle filande a vapore è da 1,3 ad 1,5 e nelle locomotive da 2,5 a 3 atmosfere. Con una tromba si attigne l'acqua e la s'inietta nella caldaia in quantità sufficiente a mantenere il liquido al livello richiesto.

Alla caldaia sono congiunti due cannelli con chiave; l'uno dei quali comunica coll'acqua, quando ve se ne contiene in quantità conveniente, l'altro colla capacità del vapore. Aprendo quest'ultimo, se somministra acqua, vi ha di questo liquido nella caldaia più del bi-

segno; che se dal medesimo esce vapore e dall' altro acqua, allora è segno della giusta porzione di liquido nella caldaia.

1163. I condotti del vapore e i recipienti, dove si condensa in liquido e si deposita il calorico latente, importa che siano di dimensioni in rapporto coll' ambiente da essere riscaldato e colla temperatura, cui deve essere portato in confronto di quella esterna dell'atmosfera.

I recipienti, che servono come di depositi o di serbatoi del calorico diretto a riscaldare le stanze e gli appartamenti, hanno la forma di colonna o altra diversa analoga all' architettura dell'ambiente, e costituiscono vere *stufe a vapore*. Talvolta consistono in semplici tubi di rame o di ferro, che trascorrono i diversi ambienti e le officine di una casa manifatturiera. Sono questi coperti di vernice atta a facilitare l' irradiazione e la diffusione del calorico, mentre quelli di condotta sono circondati, come si disse, di materie coibenti (§. 1124).

La quantità di calorico dispensato dalle stufe a vapore rimane costante, se l' eccesso della temperatura dei serbatoi sopra quella dell' ambiente resta pure costante. Ma se la temperatura delle pareti della stufa diminisce per deficienza di vapore, allora l'emissione del calorico diminuisce del pari, per essere questa in ragione dell'eccesso delle due temperature (§. 1129). D'altronde diminuendo la temperatura dell'ambiente in causa dell'atmosfera esterna, si aumenterà bensì l'irradiazione dei serbatoi per essersi accresciuto l'eccesso, ma quest' accrescimento non sarà che momentaneo quando non intervenga in proporzione nuovo vapore a supplire alla maggior perdita di calorico.

La superficie dei serbatoi deve avere un rapporto coll'ampiezza dello spazio da essere riscaldato. Tredgold dà una regola desunta dalla pratica (1), che si compendia nella seguente formola $x = \frac{n\,(t-t')}{2,1\,(T-t)}$, dove $n$ dinota il numero dei piedi cubi inglesi da riscaldarsi in ogni minuto, T la temperatura media del vapor acqueo nei serbatoi, $t$ quella cui deve essere mantenuta la stanza e $t'$ l'altra dell'aria esterna. Se $n=10000$ piedi cubi inglesi, $T=200°$ Fahrenheit, $t=59°$, $t'=41°$ dello stesso termometro, si ha colla sostituzione $x=607,9$ piedi quadrati inglesi; ed equivalendo ognuno di essi a decimetri quadrati 9,29, si avrà per la superficie da darsi ai serbatoi decimetri quadrati

(1) Si vegga la traduzione su citata dell'opera di lui: *Principes de l'art de chauffer* ecc., pag. 85.

5647,391. Ora la regola suesposta non è applicabile che alle misure inglesi del piede e del termometro, e per trasformarla in misura metrica e in gradi del termometro centesimale è d'uopo variare la costante 2,1 che chiameremo $y$, e nell'equazione superiore mettere, invece di $x$, il suo valore in decimetri quadrati 5647,391; T=93,5 del termometro centesimale, $t$=15°, $t'$=5°, ed $n$=283165,6788 decimetri cubi equivalenti a 10000 piedi cubi inglesi. Con queste sostituzioni si trova $y$=6,4, che è la costante della formola, dove i gradi sono centesimali e le superficie in decimetri quadrati. Per tal modo la nuova formola sarà $x=\frac{n\,(t-t')}{6,4\,(T-t)}$, dalla quale si ha la quantità $x$ in decimetri quadrati della superficie riscaldante di serbatoi di ghisa o di ferro, dato il numero $n$ di decimetri cubi dell'ambiente, la temperatura T del vapore, quella $t$ cui si deve mantenere l'ambiente medesimo e l'altra $t'$ dell'aria esterna espresse tutte in gradi del termometro centesimale.

1164. Le caldaie a vapore per le tratture di seta sono costrutte sugli stessi principii, e il vapore è condotto per un canale principale lungo la fila delle caldaiuole contenenti l'acqua per dipannare i bozzoli. Dal canale partono tanti tubi secondari, che mettono capo in ciascuna caldaiuola, dove l'acqua viene elevata a circa 88° cent. dal calorico del vapore, che vi si condensa. La capacità della caldaia ha un rapporto determinato col numero delle caldaiuole, onde sia atta a fornire la quantità di vapore necessaria al riscaldamento dell'acqua in esse contenuta. Nelle nostre filande a vapore la capacità delle caldaiuole è di circa 22 litri e quella della caldaia principale di tante volte 76 litri quanto è il numero delle caldaiuole. La caldaia principale si empisce d'acqua per tre quarti o almeno due terzi della sua capacità (1).

Si è pensato con molto accorgimento di far circolare il fumo del fuoco all'intorno di una cassa d'aria fatta di ghisa, donde si sono derivate delle copiose correnti d'aria, la quale, riscaldata in quegli igniti ambienti, esce quasi rovente e trascorre per canali appositi scavati nel terreno foderati di tavole di rovere, entro cui sta sospeso il condotto principale del vapore. Quest'artifizio esclude il bisogno d'inviluppare il condotto medesimo con materie coibenti, bastando quell'aria calda a mantenerlo alla temperatura conveniente e ad impedire

(1) Si vegga l'opuscolo: *Miglioramenti apportati dagli artisti Leonardi e Rotta all'apparecchio per trarre la seta dai bozzoli* ecc. Milano 1819, pag. 46.

che il vapore deponga quel calorico, che deve essere tutto diretto, per quanto è possibile, al riscaldamento dell'acqua nelle caldaiuole. Il vapore, essendo mai sempre investito d'aria calda e secca, è meno probabile che si raffreddi anzichè si accresca di temperatura e quindi la sua elasticità e la sua forza calorifica. Vi ha di più che il condotto, collocato in tal modo isolato in quel canale sotterraneo, non ingombra lo spazio della filanda e presenta altresì il vantaggio che, levando il coperchio del canale stesso, si rileva a colpo d'occhio, in caso di guasti, qual parte della sua lunghezza esiga riparazione (1). In alcune filande a vapore per trarre la seta dai bozzoli si è derivato da quelle casse d'aria un'altra corrente diretta a scaldare la stufa per prosciugare i bozzoli ed impedire così lo sviluppo del verme.

Le filande a vapore procurano un risparmio rilevante di combustibile, riducendo i molti fuochi parziali delle caldaiuole ad un solo: Presentano altresì il vantaggio di portare nelle caldaiuole l'acqua distillata del vapore, la quale è più propria a sciogliere la sostanza gommosa dei bozzoli, che devono essere dipannati (2).

1165. La sorgente di calorico somministrata dal vapore acqueo è stata applicata alle cucine, riscaldando col fuoco attivato in un solo fornello più vasi e recipienti ad un tempo. Vi ha una piccola caldaia destinata alla generazione del vapore, nella quale mettono capo dei condotti per cui esso passa a depositarsi sulle pareti dei vasi da essere riscaldati. I condotti sono forniti di chiavi per aprirli al bisogno secondo i vasi che si vogliono riscaldare.

Le cucine a vapore non convengono che per quelle famiglie e per quegli stabilimenti, in cui si devono preparare parecchie vivande ad un tempo. Si fanno però delle cucine portatili di rame o di ferro, da servire anche nell'economia domestica per famiglie non molto numerose. Le cucine a vapore hanno il vantaggio che il calore comunicato ai vasi non sorpassa il grado che potrebbe alterare le vivande, che si sottopongono alla cottura.

1166. Dipendenti dalla classe delle fonti spettanti ai processi fisici sono i fenomeni inversi a quelli altrove considerati (§ 1022-1029). Ai primi istanti di una pioggia temporalesca, massime se è improvvisa e non molto copiosa, si prova un sensibilissimo aumento di temperatura pel calorico lasciato libero dal vapore liquefatto. Altri feno-

(1) Si vegga l'opuscolo su citato: *Miglioramenti* ecc. pag. 13-14.

(2) Intorno alle filande a vapore si consulti l'opuscolo di Porro Lambertenghi: *Il metodo di trarre la seta dai bozzoli col mezzo del vapore.* Milano 1817.

meni consimili avvengono pel riconsolidamento dell'acqua (§. 1030). Il gesso o solfato di calce nel rassodare svolge del calorico in causa dell'acqua di cristallizzazione che passa allo stato solido. In generale i corpi solidi, che per essere stati sottoposti ad un intenso calore, hanno perduto la loro acqua di cristallizzazione e sono dotati di grande tendenza ad unirsi a questo liquido, sviluppano molto calorico quando vengono bagnati; come sono il gesso, la calce, la potassa e simili. Al contrario i sali cristallizzati, alcuni ossidi ed acidi danno nascimento, per una ragione contraria, a raffreddamento da cui dipendono le *mescolanze frigorifere*, di cui parleremo.

1167. La quantità di calore è in proporzione del vapore, che si genera in un dato tempo e che varia secondo l'attività del fuoco, la grossezza ed altre qualità della parete dei vasi, e l'estensione della superficie del liquido, che riceve direttamente l'azione del fuoco.

L'attività del fuoco dipende dalla struttura del fornello e dalla natura e quantità di combustibile. Il fornello abbia la forma propria ad attrarre aria in sufficienza per alimentare nella migliore maniera e sopra ogni punto la combustione. A pari circostanze le materie carbonizzate danno maggior calorico dei combustibili allo stato ordinario.

Si è veduto che nei vasi di metallo, tanto per la conducibilità delle loro pareti, quanto per la poca adesione che hanno con l'acqua, facilitano l'ebollizione di questo liquido. La grossezza ritarda il passaggio del calorico e rende meno efficace il fuoco; e la maggiore o minore densità dello strato superficiale esterno della parete rende minore l'assorbimento del calorico irradiato dal combustibile.

Il liquido deve aumentare più che sia possibile i punti di contatto colla parete riscaldata; giacchè la quantità di liquido evaporato in un dato tempo aumenta in generale col numero di quei punti. Nelle circostanze più favorevoli e con un fuoco il meglio mantenuto si ammette che per ogni centimetro quadrato di superficie riscaldata passino in vapore 10 grammi d'acqua in un'ora, il che equivale a 100 chilogrammi d'acqua ogni metro quadrato. Questa quantità riesce d'ordinario minore nella pratica, principalmente se il fuoco non si conservi abbastanza attivo. Per aumentare il numero dei punti della superficie riscaldata a contatto col liquido, importa d'accrescere più che sia possibile l'estensione della parete, che riceve il calorico. È appunto per questa ragione che nella caldaia delle machine locomotive il fumo ed anche la fiamma percorre parecchi tubi, che ne attraversano la lunghezza ed aumentano i contatti del liquido colla superficie riscaldata.

1168. In parecchie operazioni delle arti interessa di riscaldare l'acqua oltre il suo punto d'ebollizione, il quale non viene mai sorpassato in virtù del calorico assorbito dal vapore, che si genera. A tal fine bisogna impedire l'ebollizione del liquido coll'aumento della pressione, e così obbligare tutto il calorico a rimanere nell'acqua che lo riceve. Quest'effetto si ottiene coll'apparato detto, dal nome dell'inventore, *pentola di Papino* o *pentola papiniana* fatta conoscere sino dall'anno 1682.

L'apparecchio consiste in un vaso cilindrico di bronzo o di ferro a pareti abbastanza grosse e capaci di grande resistenza. Una robusta lastra ben appianata dello stesso metallo serve di coperchio, che chiude l'apparecchio mediante traverse e chiavelli a viti in modo da non lasciar adito al vapore. Il coperchio stesso è munito d'un foro con valvola di sicurezza a pressione (§. 566), che si carica più o meno secondo il grado di temperatura cui si vuole riscaldare l'acqua. La pentola, ben chiusa e riempiuta in parte di liquido, si pone all'azione del fuoco. L'acqua, a misura che è riscaldata, va in vapore, il quale si raduna nella capacità superiore, vi si condensa e rende più difficile la formazione di nuovo vapore. In tal modo la temperatura del liquido s'innalza oltre il grado d'ebollizione, sinchè il vapore acquista la tensione capace di sollevare la valvola e dissiparsi nell'atmosfera. Aggravando di maggior peso la valvola, l'acqua si può portare a temperature sempre più grandi. Non bisogna però oltrepassare il limite, con cui si giungerebbe alla tensione che farebbe scoppiare il vaso con grave pericolo delle persone astanti.

All'acqua, nella pentola papiniana, si dà il calore necessario per la fusione del piombo; per cui con essa si ottengono degli effetti, che non avvengono alla temperatura ordinaria dell'ebollizione. Si estrae dalle ossa una sostanza nutritiva così abbondante come quella che si ricava dalle carni muscolari le più succose. Molte sostanze alimentari, che richieggono parecchie ore per la cottura, si cuocono eccellentemente in pochi minuti.

L'apparecchio di Papino ha ricevuto una modificazione per la quale non si richiedono i chiavelli e le viti per tenere assicurato il coperchio. L'apertura è di forma elittica e lavorata nel suo orlo a tronco di cono. Questa forma presenta il vantaggio che il coperchio, quantunque più grande, può essere introdotto nel vaso ed applicato al suo vero posto a guisa di valvola conica che si apre dall'infuori all'indentro. In tal maniera la tensione del vapore, che va formandosi, preme contro il coperchio medesimo e lo obbliga a chiudersi, e tanto

più esattamente quanto più è grande la sua forza. L'apparecchio così modificato è stato denominato *autoclave*, cioè che si chiude da sè. È in questa maniera che si costruiscono alcune pentole di ghisa per l'economia domestica, le quali hanno applicate al coperchio delle valvole coniche di peso tale da impedire l'uscita del vapore sino alla tensione corrispondente a 105 in 106 gradi centesimali.

1169. In un vaso perfettamente chiuso, l'acqua si potrebbe riscaldare ad una temperatura indefinitamente crescente, se le pareti del medesimo offrissero pure una resistenza indefinita. Ma quando il chiudimento non sia esatto, sfugge del vapore, pel quale si diminuisce la temperatura del liquido : si è cercato quindi la temperatura che prende l'acqua nel vaso secondo la grandezza dell'apertura per dove si dissipa il vapore. Ecco i risultati riferiti da Pouillet nella sua Fisica, nei quali l'area dell'orifizio, lasciato alla dissipazione del vapore, è espressa in frazione dell'estensione della bocca del vaso, dove si contiene l'acqua.

100° di temperatura anche se l'orifizio abbia $\frac{1}{1000}$

105 « quando ha raggiunto . $\frac{1}{5000}$

115 « — $\frac{1}{10000}$

138 « — $\frac{1}{20000}$

Se ad ogni grandezza del orifizio la temperatura si mantiene al grado indicato, quantunque prodotta dal medesimo fuoco, bisogna che la quantità in peso di vapore, sfuggita in un dato tempo dai differenti orifizi, sia sempre eguale. Imperocchè la superficie riscaldata rimane la stessa e il calorico somministrato deve essere in egual quantità nel medesimo tempo: talchè, se dal orifizio maggiore sfugge un volume più grande di vapore, da quello più piccolo ne sfugge un volume minore che per la maggiore densità, cui si trova, eguaglia il peso del primo. Laonde il peso dell'acqua evaporata in un minuto dalla caldaia alla temperatura di 100° ed interamente aperta riescirà prossimamente eguale al peso dell'acqua evaporata uscita dalla medesima a 138° sotto l'azione del medesimo fuoco per l'orifizio che è la 20 millesima parte della superficie del liquido, che riceve direttamente il calore.

Nella pentola papiniana e nei precedenti casi la dilatazione del li-

quido, che passa in vapore, è contrariata dalla forza premente. Vi ha altresì una dilatazione sforzata in virtù dell'adesione. Si riempia d'acqua a 28 in 30 gradi un robusto tubo di vetro chiuso da una parte e dall'opposta terminato in sottile filo, e si raffreddi poscia a 18°: diminuirà con ciò di volume, ed allo spazio lasciato vi entrerà dell'aria. Si chiuda allora il tubo e si riscaldi di nuovo gradatamente sino alla primitiva temperatura ed anche più: l'aria è premuta per la dilatazione e s'interna e si scioglie nel liquido. Raffreddando ancora l'acqua a 18° ed anche più, essa continua ad occupare per intero la capacità interna e ad essere dilatata come era a 28°. In questo stato un piccolo urto o tremito produce con rumore una specie d'ebollizione e ricomparisce il fluido aeriforme a galla dell'acqua. Berthélot ha verificato su parecchi liquidi il fenomeno, che egli chiama *dilatazione sforzata* dei liquidi (1).

1170. Nella scienza e nelle arti si presenta sovente l'occasione di sciogliere delle quistioni intorno alla temperatura delle mescolanze fatte col ghiaccio, col vapore e coll'acqua. Rammentiamo primieramente che un'unità in peso di vapore è capace di elevare libbre 550 d'acqua di 1° centesimale (§. 1155), mentre il calorico, che diventa latente nell'eguale quantità di ghiaccio che si fonde, è capace di elevare altrettant'acqua a 79° centesimali (§. 1156), o ciò che torna lo stesso 79 unità in peso soltanto ad 1°. Dunque il calorico elastificante dell'acqua è eguale a $\frac{550}{79}$, o 7 volte il calorico di fluidità dell'acqua stessa, ossia a 7 volte il calorico che sarebbe capace di fondere altrettanto ghiaccio a zero. Il rapporto poi del calorico dell'acqua bollente e quello di liquidità sarà 100 : 79, e quindi il secondo sarà 0,79 del primo.

1171. Parecchie questioni si possono proporre intorno alla mescolanza di date masse d'acqua ai tre stati di solido, di liquido e di vapore; si chiami $g$ il peso del ghiaccio a zero centesimale, ed $a$ quello dell'acqua alla temperatura $t$; mentre $\theta$ esprime la temperatura della mescolanza. Un'unità in peso di ghiaccio a zero assorbendo 79° d'altrettant'acqua, il calorico del ghiaccio stesso sarà espresso da $-79\ g$, mentre quello dell'acqua lo sarà da $at$. Dovendo il calorico totale avanti e dopo la mescolanza risultare eguale; si avrà $at-79\ g=(g+a)\ \theta$. Con questa formola si sciolgono facilmente i problemi seguenti:

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III, pag. 180

*Quanto ghiaccio a zero bisogna mischiare con 4 chilogrammi d'acqua a 100° per avere tanto liquido a zero?* Sostituendo nella formola si ha $g=5,06$. Si voglia invece sapere *quant'acqua a 25° sarà necessaria per fondere 6 chilogrammi di ghiaccio a zero ed ottenere a 5° il tutto liquido?* Le sostituzioni nella formola danno $a=25,2$. *Mescolando 25 chilogrammi d'acqua a 70° con 6 di ghiaccio, qual temperatura prenderà il liquido risultante?* Facendo le sostituzioni nella solita formola si ha $\theta=41°,16$. *Qual temperatura devono avere 10 chilogrammi d'acqua, affinchè, mescolati con 5 di ghiaccio deliquescente, si abbia tant'acqua a 20°?* Operando egualmente risulta $t=69°,5$. In tal maniera le questioni possono essere variate a piacimento.

La formola superiore $at-79=g\ (g+a)\ \theta$ può condurre a risultamenti assurdi o far conoscere l'assurdità dei dati per la soluzione del problema. Se si chiedesse per es. *qual temperatura prenderà la mescolanza fatta con 4 chilogrammi d'acqua a 39°,5 e 2 chil. di ghiaccio a zero?* In questo caso si ha $\theta=0$, e il problema è ancora solubile, imparando dal risultato che la mescolanza prenderebbe la temperatura zero. Se invece si domandasse *qual temperatura avrà la mescolaza di 2 chilogrammi d'acqua a 39°,5 e 4 di ghiaccio a zero?* In questo caso risulterebbe $\theta=-39\ ,5$. Bisogna interpretare questo risultamento negativo nel senso che la massa della mescolanza di 6 chilogrammi ha bisogno, per prendere la temperatura zero, del calorico proprio ad altrettant'acqua elevata al disopra di zero di 39°,5.

1172. Allo scopo di stabilire la formola per isciogliere questioni somiglianti intorno alla mescolanza dell'acqua col vapore, si osservi che un'unità in peso di vapore acqueo a 100° sviluppa tanto calorico da riscaldare da zero a 550° altrettant'acqua. Laonde il calorico libero più quello latente del vapore acqueo darebbe la somma di 650°, e quindi per $v$ unità in peso sarebbe $650v$. Si chiami ora con $a$ il peso della massa d'acqua alla temperatura $t$, che mescolata col vapore acqueo dia alla massa totale la temperatura $\theta$. Dovendo la quantità totale di calorico $at+650v$ dei due fluidi essere eguale a quella $(a+v)\theta$ della mescolanza dei medesimi, si avrà l'equazione $at+650v=(a+v)\theta$, colla quale si sciolgono delle quistioni analoghe a quelle della mescolanza dell'acqua col ghiaccio.

*Chilogrammi 20 d'acqua a 10° quanto vapore richiederanno per avere la mescolanza di 50°?* L'equazione dà tosto $v=1.\,^1/_3$. *In chilogrammi 18 d'acqua a 5° se ne devono condensare 2 di vapore, si domanda la temperatura che prenderanno i 20 chilogrammi di liquido.*

Colle sostituzioni nella formola si ottiene $\theta=69°,5$. *Un chilogrammo di vapore acqueo ricondensato con acqua a 10° ha dato la mescolanza a 50°, si domanda la quantità dell'acqua rimescolata col vapore?* Introducendo nell'equazione i valori dati in questo caso si ha $a=15$. *Qual temperatura doveva avere la massa d'acqua di* 40 *chilogrammi per prendere nella mescolanza con chilogrammo* 0,5 *di vapore la temperatura di* 60°? Mettendo nell'equazione precedente alle lettere i rispettivi valori risulta $t=52°\,{}^{5}/_{8}$.

1173. Cerchiamo ora la formola per isciogliere delle questioni analoghe alle precedenti nella mescolamza del ghiaccio col vapore acqueo. Sia a tale scopo $g$ il ghiaccio che entra nella mistione, $v$ quello del vapore e $\theta$ la temperatura che ne risulta. La quantità di calorico dei due corpi avanti la mescolanza è espressa da $650v-79g$, mentre la stessa quantità della massa liquida risultante è rappresentata da $(v+g)\theta$. Si avrà dunque l'equazione $650v-79g=(v+g)\theta$.

*Quale temperatura prenderà la mistione di* 8 *chilogrammi di ghiaccio con* 2 *di vapore?* Facendo la opportune sostituzioni si ha $\theta=66,8$. *Quanti chilogrammi di ghiaccio si dovranno unire a* 2 *di vapore per avere tanto liquido a* 50°? Posti i rispettivi valori nell'equazione risulta $g=9,3$. *Quanto vapore acqueo si dovrà unire a* 10 *chilogrammi di ghiaccio per avere dell'acqua a* 100°? Mettendo nella formola le corrispondenti quantità si ottiene $v=3,25$.

Un dotto ingegnere ebbe l'idea di servirsi del calorico, svolto nella condensazione del vapore, per isciogliere la neve che ogni volta cade sul suolo delle contrade e delle piazze di Milano. Avanti di realizzare il suo pensiero chiese se preventivamente si poteva giudicare della convenienza di esso nella pratica. A tal fine mi comunicò che le contrade e le piazze di Milano, da essere sgombrate dalla neve, si valutavano a 700000 metri quadrati, che l'altezza media d'ogni nevicata poteva ammettersi di metri 0,15, ed un metro cubo della neve soffice caduta senza pioggia valutarsi del peso di 200 chilogrammi. Il volume in metri cubi della neve caduta in una sola volta sarà nel nostro caso di 105000, per cui il suo peso, in ragione di 200 chilogrammi per metro, risulterà di chilogrammi 21000000. Facendo, nella precedente equazione, $g=21000000$, $\theta=0$, si ha per la quantità in peso di vapore o d'acqua da essere evaporata $v=2552308$ chilogrammi, che equivalgono a metri cubi 2552,308 od ettolitri 25523,08 d'acqua da ridursi in vapore. Una caldaia, lasciando lo spazio per l'accumulamento del vapore, si può supporre capace di 10 ettolitri d'acqua: per formare quindi il vapore necessario alla fusione e quindi

alla dissipazione di quella neve bisognerebbe empire 2552 volte la medesima caldaia, ed operando contemporaneamente con 20 delle medesime si richiederebbe ancora il rinnovamento dell'acqua 128 volte di ciascuna. In questa valutazione non vi è compreso il calorico che si disperde nel gettare il vapore sulla neve da essere liquefatta, ed inoltre questa si suppone alla temperatura zero che non sempre si verifica. Da queste preliminari valutazioni si scorge facilmente che il nominato progetto non avrebbe in pratica il tornaconto. Si osservi altresì che lo sgombramento della neve deve essere eseguito nella città di Milano dall'appaltatore nel termine prescritto di 3 giorni, e la spesa coi mezzi ordinari è ogni volta in termine medio di lire italiane 10500.

1174. Le sorgenti artifiziali più feconde di calorico si annoverano nella classe di quelle dipendenti dalle azioni chimiche, per le quali appunto nella formazione di nuovi corpi viene quasi sempre alterata la temperatura, ossia nel composto si manifesta aumento o diminuzione di calore libero. Nel primo caso l'effetto è generalmente prodotto dallo svolgimento del calorico combinato, che diventa libero nello scambio delle affinità, a cui spesso si aggiunge del calorico latente, che si sprigiona per un accrescimento di densità nei corpi sottoposti alle chimiche azioni. In alcuni casi lo scambio delle attrazioni fissa nuovo calorico, che si unisce chimicamente al composto e dà luogo ad assorbimento e quindi a diminuzione di temperatura, a cui talvolta vi ha parte l'accresciuta capacità pel calorico o la rarefazione. Questa variazione di temperatura, che si manifesta nella formazione dei composti, è desunta da parecchi fatti, che la scienza e l'arte hanno verificato nelle mescolanze e nelle combinazioni delle diverse materie. Nelle azioni chimiche si hanno delle sorgenti, colle quali l'umana industria si procura calorico, mettendo le diverse materie in circostanze opportune all'esercizio dell'affinità ed a rendere libero il calorico combinato o nascosto. Al contrario si ha un mezzo atto a produrre raffreddamento quando, in quelle attrazioni, le molecole prendono a sè nuovo calorico, che ritengono allo stato combinato o latente. Il calorico è stato distribuito e tenuto celato per tal modo dal Creatore in molti corpi con sapienti mire di beneficenza a profitto dell'umana schiatta e di tutta la natura.

1175. Fra i mezzi di produzione di calorico colle azioni chimiche la *combustione* occupa il primo posto, essendo essa la più copiosa e la più importante delle sorgenti dopo il sole. È senza dubbio il mezzo principale di supplire alla natura, quando vien meno l'attività dei benefici raggi dell'astro maggiore, e il modo di soddisfare ad

un indefinito numero di bisogni e di usi nella società e nelle arti. La combustione ordinaria si può definire *quell' operazione, nella quale un corpo si appropria ad una determinata temperatura l' ossigeno, che, combinandosi con alcuni elementi, lascia libera una quantità più o meno grande di calorico.* Infatti non vi ha combustione dove non siavi ossigeno, e dove questo gas è puro la combustione è più rapida ed attiva (§. 729). S'istituiscono nella scuola le sperienze coll'ossigeno puro, estraendolo mediante i processi altrove insegnati (§. 728) e raccogliendolo in ampie bocce o campane ed anche in ampolle. Si prende un cerino appena spento od un carbone, che abbia qualche parte igniscente ed è attaccato ad una verghetta di ferro F opportunamente incurvata (fig. 251), e si cala nella boccia AB piena di puro ossigeno: il cerino o il carbone tosto si infiammano, la combustione diventa più attiva, si dilata e spande grande chiarore. Una sottile spira di ferro E, alla cui estremità si attacca un pezzo d'esca accesa, s'introduca nella boccia: la combustione si propaga al ferro, il quale abbrucia spandendo per ogni parte brillantissime scintille. Se la verghetta di ferro F termina in una piccola cassula, su cui si pone un pezzetto di fosforo, che si accende al momento da immergerlo nella boccia: tosto che esso si trova in mezzo all' atmosfera d' ossigeno, la combustione prende una rapidità sorprendente diffondendo all'intorno una luce abbagliante. In queste combustioni, unitamente alla luce, ha luogo un grande sviluppo di calorico.

L'acciarino comune battendo contro la pietra focaia in mezzo all'aria atmosferica, di cui un quinto in volume è puro ossigeno (§. 726), accende le scheggie che si distaccano dall' acciaio; ma se l' acciarino è collocato dentro il gas acido carbonico o altro fluido aeriforme privo d' ossigeno, oppure nel vuoto, e si faccia scattare la molla dentro il recipiente con un ordigno apposito non comparisce veruna scintilla, e le schegge d'acciaio, distaccate, non abbruciano pel solo calorico che si svolge nella compressione (§. 1154). Infatti i pezzetti d'acciaio, caduti sul piano sottoposto, se si raccolgono e si esaminano con una lente, si vedono ancor lucenti; mentre nell'altro caso sono anneriti ed ossidati e manifestano i segni della combustione avvenuta. Per queste sperienze serve comodamente l'*acciarino a rotazione*, che spande vive scintille nell' ossigeno e nell' aria, e dà niun segno di combustione negli altri gas e nel vuoto.

1176. Nella combustione, unendosi l'ossigeno alle molecole del corpo che abbrucia, questo deve aumentare in peso e di tanto quanto è il gas consumato. Nella calcinazione del mercurio e nella combina-

zione di questo metallo coll' ossigeno (§. 726) si ha un' operazione analoga alla combustione, dove, facendosi con lentezza la combinazione, il calorico si dissipa a misura che si sviluppa, e l'accrescimento di peso del mercurio risulta eguale a quello dell' ossigeno somministrato dall'aria. D'altronde diligenti sperienze istituite ci attestano che 100 parti in peso di fosforo, dopo essere abbruciate, danno 230 parti d' acido fosforico; 100 parti di solfo, dopo la combustione, diventano 250 parti; 100 parti di carbone si saturano nell'abbruciare di 265 parti d'ossigeno e ne formano 365 d'acido carbonico.

È bensì vero che, nella maggior parte dei casi, i corpi nell'abbruciare diminuiscono di peso invece di aumentare. Ciò avviene in causa delle sostanze volatilizzabili, che si formano nell'unione coll'ossigeno o che si sviluppano in presenza del calorico, per cui si dissipano allo stato di gas o di vapore. Tuttavolta, se si tiene conto di tutti i prodotti della combustione, si trova che il combustibile è aumentato in peso. Se la cenere delle legna, abbruciate sui nostri camini e nelle nostre stufe, risulta molto minore del peso del combustibile abruciato, ciò si deve attribuire alle perdite ed alle esalazioni di materie, le quali generano la fuliggine e si dissipano allo stato aeriforme formando quel miscuglio, che dicesi *fumo*.

I corpi grassi constano principalmente d' una notabile quantità di carbonio e d'idrogeno, e quando abbruciano s'impossessano dell'ossigeno dell' aria, pel quale l'idrogeno si trasforma in acqua (§. 727) e il carbonio in ossido o in acido (§. 733). In queste trasformazioni l'ossigeno dà luogo ad un grande sviluppo di calorico, si dissipa l'acqua in vapore e l'ossido e l'acido carbonico allo stato di gas. Quando quei combustibili sono posti ad abbruciare nel puro ossigeno, essi trovano un volume cinque volte maggiore di questo gas, che rende più attiva la combustione ed uno sviluppo di calore più intenso.

1177. Le legna sono nella massima parte formate di fibre legnose, d'una quantità più o meno grande d'acqua che si separa alla temperatura di 100°, d'una piccola porzione di materia solubile nell'acqua e infine di alcune sostanze minerali che costituiscono le ceneri. Alcune contengono talvolta delle materie resinose. Le proporzioni relative di questi diversi componenti delle legna variano di molto dall'una all'altra qualità, dall'una all'altra specie. Le legna verdi hanno in sè molt'acqua libera, che evapora in gran parte coll'esposizione all'aria. L'acqua contenuta in queste legna ascende in generale a 40 centesimi del loro peso, e la porzione che abbandonano all' aria si valuta al quinto o al sesto pure del loro peso secondo la specie e l' età della

pianta, da cui si traggono, mentre ritengono in sè l'altra porzione. Le legna da fuoco si possono dunque considerare come sempre riunite ad una quantità d'acqua libera eguale circa ad un quinto o ad un quarto del loro peso. Alla temperatura di 100° quest'acqua si dissipa; ma coll'esposizione di nuovo all'aria ed a capo di qualche tempo ne assorbono ancora circa un decimo. Le ceneri variano pure in quantità secondo la natura delle legna e nelle stesse legna secondo la loro età, ed inoltre sono in proporzione molto più abbondanti nella corteccia che nel tronco. La natura delle ceneri varia nelle diverse specie, e in generale si compongono di molto carbonato di calce o di magnesia, e di poche quantità di fosfato di calce, di cloruro, di potassio, di solfato e carbonato di potassa e finalmente di silice libera o allo stato di combinazione colla potassa e colla calce. Le materie, solubili nell'acqua o nell'alcoole, sono in piccolissime quantità nelle legna ordinarie da fuoco. In quelle resinose, come il pino e l'abete, si contiene in grande dose una sostanza solubile nell'alcoole in proporzioni diverse. Queste sostanze solubili sono combustibili, ad eccezione di alcuni sali compresi nelle ceneri.

La fibra legnosa è stata analizzata da alcuni chimici, e risulterebbe dalle loro analisi ch'essa è sempre identica nella sua composizione, quantunque fornita da diverse piante. Gay-Lussac e Thénard hanno posto a confronto la materia legnosa di diversi vegetali disseccati alla temperatura di 100°, e due delle loro analisi presentano i risultati seguenti:

| | *Fibra legnosa.* | | |
|---|---|---|---|
| | *di quercia* | *di faggio* | *di media* |
| Carbonio . . . . . . | 52,53 | 51,45 | 52 |
| Ossigeno ed idrogeno nelle proporzioni dell'acqua . . . . | 47,47 | 48,55 | 48 |
| | 100,00 | 100,00 | |

Da questi risultati si avrebbe che la fibra legnosa si compone di 52 parti in peso di carbonio e di 48 d'acqua o almeno d'idrogeno e d'ossigeno nella proporzione, che costituisce questo liquido. Si scorge anche come, dalla combustione delle legna, debba nascere acido carbonico e vapor acqueo. Siccome poi l'idrogeno e l'ossigeno si trovano nelle proporzioni dell'acqua; così si comprende come al calore utile

concorra il solo carbonio nella sua combinazione coll' ossigeno dell'aria. D'altronde l'acqua, risultante dagli altri due componenti, deve nell' evaporare invece di emettere calorico assorbirne (§. 1015).

Chevandier ha pure pubblicato alcune indagini sulla composizione delle diverse legna, cui ha aggiunto i rapporti del loro potere calorifico (1). La quantità di carbonio risulta del 51 per 100 nei legni resinosi, nella betulla, nell'ontano e nel salice; è del 50 per 100 nella quercia e nel pioppo tremolo, e di 40 a 50 nel faggio e nel carpino. Questi rapporti si riferiscono alla fibra legnosa unitamente alla corteccia; talchè da essi si impara che il carbonio contenuto in ogni specie di legna si può considerare prossimamente di eguale quantità. Vi ha anche una piccola quantità d' idrogeno libero principalmente nella betulla, nell' ontano, nel pioppo e nel salice; la quale è minima nella quercia e nel faggio.

1178. Sotto l' aspetto della scienza si è cercato di determinare il calorico, che si sviluppa nella combinazione dell'ossigeno con alcuni corpi semplici, per calcolare poscia quello dei combustibili composti e vedere se i risultati in tal modo ottenuti si accordano coi dati offerti direttamente dall' esperienza. Abbiamo già veduto (§. 1143) che un grammo di carbone si unisce a 2,655 d'ossigeno producendo 7300 calorie nella combustione compiuta: quest' ultimo numero chiamasi il *coefficiente del potere colorifico* del carbonio. Lo stesso coefficiente per l'idrogeno è stato valutato di 23400 da Lavoisier, di 22125 da Clément e di 23640 da Despretz. Dulong però, all'appoggio delle sue sperienze, lo fa ascendere a 34444, che viene ammesso anche da Dumas nel darne la relazione (2). I coefficienti di questi due corpi semplici entrano nella composizione della maggior parte delle materie combustibili, le quali nell' abbruciare prestano quei corpi all'ossigeno per lo sviluppo del calorico.

Parecchi fisici hanno intrapreso delle sperienze sulla combustione, i cui risultati si sono posti a confronto con questo metodo di calcolare il potere calorifico dei corpi, e furono riportati e discussi da Bull nell'opera su citata (§. 1142) e da Péclet (3). Si è veduto nel paragrafo precedente che la quercia ed il faggio contengono 52 parti di carbonio, talchè moltiplicando questo numero pel coefficiente 7300 si ha per prodotto 379600. Siccome questo prodotto esprimerebbe il potere

(1) *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. XXVII, pag. 213.
(2) *Annali di fisica* ecc. suddetti, t. XIV, pag. 53.
(3) *Traité de la chaleur*. Parigi 1828.

calorifico delle 100 parti in peso di quelle legna; così una sola parte darà 3796 calorie. Rumford coll'esperienza ha ottenuto pel legno ben secco 3500 calorie ed Hassenfratz 3675, potere calorifico effettivo che non si discosta molto da quello calcolato. Secondo Péclet un quarto soltanto di questo calorico si propaga per irradiazione, e bisogna togliere il rimanente ai gas per contatto, dai quali è trasportato.

Importando di conoscere il potere calorifico espresso in altra maniera (§. 1143), riferiamo quelli dei principali combustibili in uso nelle arti e nei bisogni sociali.

*Per elevare di 1° centesimale un metro cubico d'acqua si richieggono le quantità dei combustibili seguenti.*

| | | |
|---|---|---|
| Carbone fossile purificato, *coche* od arso . | chilog. | 0,1984 |
| Carbone di legna . . . . . . . . . | » | 0,2736 |
| Carbone fossile comune . . . . . . . | » | 0,2880 |
| Legno secco di faggio . . . . . . . | » | 0,6968 |
| Legno secco di quercia . . . . . . . | » | 0,7632 |
| Torba di buona qualità . . . . . . . | » | 1,3680 |

Nei casi, ove è necessario di procurarsi in poco tempo un fuoco ardente e di sostenerlo con grande energia, è conveniente di servirsi dei combustibili al loro stato naturale. Il calore regolare, che si richiede in parecchi casi, si ottiene con meno cure e maggior economia servendosi dei combustibili preparati. È appunto per ciò che nelle macchine a vapore d'ogni sorta, si preferisce il carbone alla legna: imperocchè, una volta che l'acqua in esse abbia raggiunto il grado di ebollizione, è conveniente di avere un calore regolare con un combustibile, che abbruci lentamente e sviluppi abbastanza calorico da supplire alla perdita che si fa nell'evaporazione. Le legna, oltre l'umidità, contengono dell'idrogeno libero, che abbrucia formando dell'acqua, la quale passa in vapore e disperde il calore. Si comprende da questo la superiorità, che ha il carbone sopra il combustibile naturale da cui si trae.

1179. Affinchè avvenga la combustione sono necessarie tre condizioni: 1° il corpo combustibile; 2° la sostanza comburente o capace di nutrire tale operazione, unendosi al corpo che abbrucia; 3° la temperatura necessaria alla combinazione dell'una coll'altra materia. I combustibili sono parecchi di numero: i semplici sono il carbonio, l'idrogeno, il fosforo, il solfo, il boro ed i metalli; e i composti sono indefiniti. Il carbonio e l'idrogeno fanno parte, oltre delle legna, degli

olii e delle sostanze grasse, della cera, dell'alcoole, dell'etere e di tutte le materie resinose ed adipose. In generale si può dire che tutti i corpi ossigenabili sono combustibili. Una volta che i corpi siano abbruciati, o siano divenuti saturi d'ossigeno, non possono più impossessarsi di questo gas e passano nella classe degl'incombustibili.

L'ossigeno è il principale comburente, o l'agente che più universalmente sostiene la combustione. In alcuni casi opera con analogia d'azione il cloro e qualche altro corpo; ma gli effetti che si ottengono, sono molto minori di quelli in cui vi ha parte l'ossigeno. L'idrogeno e il fosforo abbruciano nel cloro, essendosi in questo caso determinato il coefficiente del loro potere calorifico (1). Colla percossa dell'acciarino contro la pietra focaia, nel vuoto o in un gas non comburente la combustione non ha luogo quantunque v'abbia combustibile ed abbastanza calore (§. 1175).

La temperatura necessaria alla combustione varia secondo il grado d'affinità che i corpi hanno coll'ossigeno. Il fosforo s'impossessa dell'ossigeno ed abbrucia lentamente eziandio ad una temperatura molto bassa. In questo caso il calorico, che si sviluppa, si disperde gradatamente e non riesce sensibile agli ordinari termometri. Nobili e Melloni però costatarono con esperienze dirette il calorico svolto nella lenta combustione del fosforo mediante il termoscopio elettrico (2); e così non si addurrà più questo esempio in prova dell'esistenza di luce senza calorico. Il potassio ed il sodio abbruciano non solo nell'aria, ma eziandio nell'acqua, alla quale levano l'ossigeno all'ordinaria temperatura; per cui questi metalli non si possono conservare che in fluidi privi di quel gas. Altri corpi richieggono per abbruciare delle temperature più o meno elevate, principalmente se siano circondati dall'aria comune e non si trovino in un'atmosfera di puro ossigeno. Il gas idrogeno abbrucia ad una temperatura minore del vapore alcoolico, questo delle legna. Quanto più la combustione è rapida, tanto più vi ha sviluppo di calorico nel medesimo tempo. Nella combustione rapida il calore riesce perciò molto intenso ed è accompagnato da luce, sapendosi che i raggi calorifici cambiano specie e diventano luminosi coll'innalzamento della temperatura (§. 1099).

1180. Donde trae origine il calorico, che si manifesta nella combustione? Si svolge esso dal solo comburente oppure da questo e dal combustibile? La teorica di questa mirabile operazione della natura,

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIV, pag. 269.

(2) *Memorie ed osservazioni* ecc. di Nobili, t. I, pag. 202.

quale è stata presentata da Lavoisier sotto il titolo di *Teorica pneumatica* sostituendola a quella del flogisto, non vale in ogni caso a dar ragione degli effetti della combustione, attribuendo principalmente all'ossigeno lo svolgimento di calorico. Non è del nostro istituto di discutere questa teorica e di far conoscere le modificazioni proposte da alcuni distinti scienziati. Non dobbiamo però lasciare senza ricordo l'ingegnoso pensiero dell'italiano Luigi Brugnatelli, il quale, colla sua *Teorica termossigena*, spiega le circostanze diverse e i differenti effetti d'ogni combustione (1). E tanto più la crediamo meritevole d'un cenno, in quanto che, se ebbe qualche oppositore, indusse però alcuni chimici stranieri ad ammettere con diversi termini i pensamenti dell'illustre Italiano, fra i quali citeremo Berthollet (2), Van-Mons (3) e Guyton-Morveau (4). Thomson s'accosta ancor più alle idee del chimico italiano, e se egli non riguarda la teorica termossigena come inconcussa, l'usa però nella spiegazione dei più importanti fenomeni della combustione.

Brugnatelli, per ovviare alle difficoltà che si presentano nel dar ragione delle diverse combustioni, suppone che l'ossigeno dell'atmosfera sia una sostanza formata di calorico o termico e di puro ossigeno, la quale è chiamata da lui *termossigeno*. Egli ammette altresì due specie di corpi combustibili: alcuni di questi s'impossessano soltanto dell'ossigeno e lasciano libero il calorico, altri invece si combinano col termossigeno: da qui le denominazioni di *combustibili termossidabili* e *combustibili ossigenabili*, e quindi la *combustione* semplicemente *ossigena* e la *termossigena*. Nella prima svolgendosi, oltre il calorico gasificante, anche quello di combinazione, gli effetti sono molto più energici che nella seconda. Combustibili ossigenabili sono il carbonio, il fosforo, il solfo, il boro, il potassio, il sodio e qualche altro metallo, ed è per ciò che essi abbruciando danno grande sviluppo di calore a differenza degli altri soltanto termossigenabili.

Siccome il cloro ed altri corpi si possono considerare in alcuni casi comburenti, e siccome si ottiene sviluppo di calorico con luce, ossia

(1) *Trattato elementare di chimica* ecc. di L. Brugnatelli, 4ª edizione. Pavia, t. I, pag. 253, 259 e seguenti.

(2) *Essai de statique chimique* par Berthollet. Parigi, t. II, nota XXI, ed alla pag. 382.

(3) *Théorie de la combustion, ou Essai sur les combinaisons thermoxigènes, leurs caractères, leurs classifications et leur nomenclature* par Van-Mons. Brusselle 1803.

(4) *Annales de chimie* ecc. Parigi, prima serie, fascicolo 14.

gli effetti della combustione, dalla combinazione del solfo col rame o collo stagno, del cloro coll'antimonio ed anche dall'unione di due metalli fra loro come nella fusione del platino collo stagno; così questi fatti hanno indotto Davy e Berzelius ad interpretare in un modo un poco diverso il fenomeno della combustione, proponendo la *Dottrina elettro-chimica*, di cui faremmo cenno nel capitolo seguente (1).

1181. In quest'ultima ipotesi però non cessa l'ossigeno d'aver gran parte nel produrre la combustione, e l'elettricità non sarebbe che una causa remota. Qualunque sia la maniera di risguardare la combustione, l'ossigeno è il principal agente nel maggior numero dei casi, ed è per ciò che il fuoco nelle fucine è potentemente avvivato con correnti d'aria, per somministrare nel medesimo tempo maggiore copia di quel gas. Che se la corrente è di puro ossigeno, il fuoco diventa così intenso da fondere le materie più refrattarie.

Osserviamo che la combustione ordinaria, succedendo per la combinazione dell'ossigeno col corpo che abbrucia, sarebbe un'operazione somigliante all'*ossidazione* ed all'*acidificazione* (§. 729). Allorquando lo svolgimento di calorico e di luce si voglia considerare come un fenomeno secondario e di apparenze e non come l'effetto primario e caratteristico, è chiaro che la combustione, l'ossidazione e l'acidificazione sono tre operazioni identiche, e tali secondo noi devono ritenersi: giacchè, se in qualche lenta combustione detta da taluno *eremacosia*, non si riscontra calorico sensibile agli ordinari termometri, lo diventa ad istromenti più squisiti, come si è veduto del fosforo (§. 1179).

1182. Nella stessa maniera che i corpi esposti all'aria si preservano dall'ossidazione (§. 729), si potrebbero le materie combustibili difendere dagli incendi riunendole o spalmandole con sostanze non affini coll'ossigeno. I legni, i tessuti di lino, di canapa ed altre stoffe facili a prendere fuoco, si preparano appunto con materie che impediscono la loro unione coll'ossigeno dell'atmosfera e non abbruciano. Le soluzioni di fosfato, di borato e di solfato d'ammoniaca, il borace, ed alcuni miscugli di questi ed altri sali servono a rendere incombustibili i legni, i tessuti, le stoffe, i drappi e simili esposti al fuoco ordinario. S'immerge la materia nella soluzione ancor bollente, tenendovela pel tempo necessario a rivestirne le molecole; dopo ciò si estrae e si lascia asciugare all'aria libera. Il sal comune, l'allume del

(1) Per la storia delle dottrine e delle teoriche intorno alla combustione si vegga la lettera del prof. Canali a Morichini nel *Giornale arcadico* di Roma, t. XII.

commercio sciolti in tre parti d'acqua riscaldata all'ebollizione, rendono resistenti ad un fuoco non molto intenso la carta, il legno, i pannolini e simili. Brugnatelli consiglia a tale scopo la potassa silicea in soluzione, che si compone di tre parti di potassa con una di silice, le quali si riscaldano gradatamente in crogiuolo e si ritengono in fusione per circa un quarto d'ora; versando poscia il miscuglio sopra una lamina di ferro. Quando è raffreddato si scioglie nell'acqua, si filtra la soluzione che si conserva al bisogno (1).

I legnami, che formano parte della costruzione degli edifizii, si preservano dagl'incendi coprendoli di vetriolo verde, di calce ed altri ossidi metallici. Da Brugnatelli è suggerito a tale scopo il luto composto di parti 1 di sabbia ordinaria, 2 di calce polverizzata e 3 di paglia o fieno triturato minutamente, il tutto sciolto nell'acqua e ben mescolato assieme. Serve eziandio la soluzione satura del miscuglio fatto di liquido alcalino e di terra arenosa previamente lavata e purgata dalle materie estranee. Il teatro di Monaco ha tutti i legnami, che entrano nella sua costruzione, intonacati della soluzione fatta di potassa caustica e di sabbia ben lavata. L'effetto dell'intonaco si è sperimentato con esito felice appiccando il fuoco ad una casa di legno, di cui la metà era spalmata di quella materia e restò illesa dall'agente distruttore. L'intonaco, a ragione di 10 centesimi di lira italiana al piede quadrato, costa lire 1,17 per ogni metro quadrato, e quel teatro ne è rivestito per 34072 metri quadrati equivalenti ai 400 mila piedi quadrati di Monaco.

1183. Impedendo l'accesso dell'aria nel luogo incendiato, si toglie un elemento della combustione. È all'appoggio di questo principio che si estingue bene spesso l'incendio nella gola del camino chiudendone la bocca con istuoie o coperte bagnate, che impediscano l'affluenza dell'aria o del comburente. La pratica di tirare delle fucilate lungo la gola del camino, è diretta a sostituire all'aria un fluido non comburente. Abbruciando del solfo sul focolare del camino s'innalza un fluido aeriforme, che pure non è atto alla combustione. Gettando il sal comune sul fuoco, esala una sostanza non comburente per la quale s'espelle l'aria e si estingue il fuoco.

La pratica di gettare l'acqua sulle materie infiammate nei grandi incendi, può riuscire perniciosa anzichè utile, principalmente se il liquido è in poca quantità in proporzione dell'intensità del fuoco. Im-

(1) Intorno a questo soggetto si possono vedere gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. III, pag. 198.

perocchè l'acqua in tal caso si decompone ed aumenta il fuoco coi suoi componenti. I fabbri-ferrai sogliono per tal motivo spruzzare d'acqua i carboni ardenti della fucina. Nella Svezia, dove le case sono costrutte di legno, si getta colle trombe sulle materie incendiate un miscuglio liquido, che non si decompone e le toglie dal contatto dell'aria. Il miscuglio è formato d'*alume bruciato* parti 30, di *vetriolo verde* 40, di *argilla polverizzata* 200, di *terra rossa* od argilla siliceo-cretosa con ossido di ferro 20, e di *acqua* 630. Si prepara la soluzione riscaldando dapprima in un vaso di ferro sino all'ebollizione un sesto circa dell'acqua, nella quale si sciolgono l'alume, il vetriolo e la terra rossa; mentre nell'acqua rimanente si è sciolta l'argilla polverizzata. La prima soluzione si passa per uno staccio e si mescola poscia coll'altra, che si lasciano in deposito per qualche tempo in un grande recipiente, da cui si leva il liquido col sifone, il quale è disposto all'uso. Questo miscuglio si è sperimentato con felice successo su due case di legno come pure sopra una nave incendiate. Fabbroni ne ha istituito con felice successo la prova a Firenze, osservando che, dove cadeva quel miscuglio liquido, il combustibile si copriva d'uno strato impermeabile all'aria.

1184. Le azioni chimiche non solo sono causa di sviluppo di calorico nella combustione propriamente detta, ma in moltissime altre combinazioni. Mescolando assieme due liquidi che hanno fra loro affinità, il miscuglio prende spesso un aumento di temperatura, come fu sperimentato la prima volta dagli Academici del Cimento con acqua mista ad altri liquidi (1). In un bicchiere si abbia dell'acqua, in altro dell'alcoole alla temperatura dell'atmosfera; si mescolino insieme e la temperatura del miscuglio aumenterà di alcuni gradi, che si riconosceranno col termometro; essendo maggiore quando l'alcoole e l'acqua siano in peso nel rapporto di 1 a 2. Lo sviluppo di calorico è molto più grande se l'acqua si mescoli con l'acido solforico, non potendo in questo caso reggere la mano al calore che riscalda il bicchiere, dove vien fatta la mistione. Essendo l'acido solforico concentrato ed alla temperatura di 10° e l'acqua pure a 10°, se i due liquidi sono a parti eguali in peso il termometro nel miscuglio segna 95°. Il massimo effetto si ottiene con 1 parte d'acqua e 2,5 d'acido solforico salendo la temperatura a 130°. Alcuni chimici si sono occupati di ritrarre delle leggi sullo sviluppo del calorico nelle mescolanze di

(1) *Saggi di naturali sperienze*, edizione su citata, pag. 170.

due liquidi, e nelle soluzioni di certe materie in un dato liquido (1), come sono la potassa coll'acido solforico, la calce coll'acqua ecc.

Appartengono a questa classe di fenomeni il calore che manifestano le materie in fermentazione. Di tal fatta sono le uve pigiate dove le diverse parti subiscono delle decomposizioni per formare nuovi composti in virtù dell'affinità, e tutta la massa si riscalda; come pure le materie radunate nei letamai, dove si dispongono a diventare concime utile alla fertilizzazione dei campi. Del calorico, che si sviluppa in quest'ultimo caso, si è tratto profitto per ottenere in dati tempi lo sviluppo del pulcino dalle uova che si riscaldano in panieri circondati da letame in fermentazione. Si è applicato altresì il calorico, svolto dalle materie dei letami, ad ottenere una fruttificazione precoce delle piante, che si conservano nelle serre.

1185. Allorquando l'azione chimica è energica, il calore riesce molto intenso e può produrre l'accendimento d'uno dei corpi. Si versino alcuni grammi d'olio di trementina in un bicchiere e si infonda in esso a più riprese quasi altrettanto acido nitrico. L'azione chimica dell'acido sull'olio produce calorico ed eccita nella massa liquida una violenta effervescenza accompagnata da vapori rossi e densi, che si innalzano e si fanno sempre più copiosi a misura che si prosegue il successivo versamento dell'acido. Infine i vapori divengono bianchi, ed allora il nuovo acido aggiunto produce l'accensione della materia oleosa. Dopo la combustione rimane nel bicchiere una sostanza carbonosa, che prende d'ordinario l'aspetto di fungo. Nel secolo trascorso si è ripetuta l'esperienza cogli olii di sassafrasso, di guaiaco e simili, e si chiamava perciò il fenomeno del *fungo filosofico*. Attualmente si istituisce per la scolaresca in luogo aperto, versando a più riprese consecutive dell'acido nitroso fumante sull'olio di semi di lino.

Alla stessa categoria appartengono i solfanelli piroferi molto in uso prima degli attuali a sfregamento. Ognuno sa che quei solfanelli s'intingevano nell'acido solforico contenuto in una boccettina con fili di amianto, e portavano alla loro estremità un miscuglio formato di parti 8 d'idroclorato di potassa ben secco e polverizzato, misto con parti 2,5 di cinabro, 1 di solfo e $^1/_2$ di gomma arabica, riunite assieme con un poco di mucilagine di gomma dragante. All'appoggio degli stessi principii si dà ragione della combustione spontanea di

(1) Su questo argomento si possono consultare gli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. v, pag. 232; t. XIII, pag. 68; t. XIV, pag. 40, e t. XIX, pag. 148 e 275.

persone viventi, di cui si trovano citati parecchi esempi nella storia della medicina, e qualcheduno anche da Morozzo (1).

1186. Non solo si ha sviluppo di calorico per l'attrazione molecolare nelle combinazioni e nelle mescolanze chimiche; ma anche quando essa agisce alla superficie dei corpi come semplice adesione. Ogni materia solida, inumidita da un liquido, sprigiona calorico, come risulta dalle sperienze di Pouillet (2). Egli ha sottoposto alla prova l'acqua, l'olio, l'alcoole e l'etere acetico con solidi appartenenti alla classe dei corpi organici ed inorganici, che riduceva in polvere per aumentare i punti di contatto ed avere effetti sensibili. Delle molte materie solide, su cui ha sperimentato con quei liquidi, nessuna ha fatto eccezione a tale legge. Nella maggior parte dei casi la temperatura si elevava di un quarto o di un quinto di grado; ma talvolta l'aumento era di 10°.

A questa classe di fenomeni appartiene il lieve calore, che si manifesta allorquando il carbone o altri corpi porosi assorbiscono per adesione dei fluidi aeriformi. Il carbone, appena spento, assorbe una grande quantità del gas o del vapore, dove si trova immerso. Attraendolo negli interstizi, il carbone condensa il fluido e da questo condensamento sembra che abbia origine il calore. La quantità di fluido assorbito dal carbone varia secondo la natura del medesimo: notabile è l'assorbimento del vapore acqueo e dell'acido carbonico. In generale ogni corpo poroso assorbe e condensa una quantità più o meno grande di gas (3), e dovrebbe quindi esservi in ogni caso sviluppo di calorico, che se non è sensibile agli ordinari termometri, lo sarà al termoscopio elettrico, col quale si rendono anche più manifesti i segni osservati da Pouillet. Se ne ha un grande sviluppo immergendo il carbone appena spento nel gas ammoniaco, di cui si prepara piena un'ampolla tenuta sopra un bagno di mercurio.

1187. L'ignizione spontanea del platino, immerso in un'atmosfera di gas idrogeno misto ad ossigeno o ad aria comune, pare che dipenda dallo sviluppo di calorico in virtù dell'adesione. Il fenomeno è stato scoperto da Döbereiner nel 1823, e si ottiene con platino in filo assai fino o in foglie sottili, che s'immergono nel miscuglio gasiforme alla temperatura ordinaria. Tosto il metallo si riscalda, diventa rosso, poscia rosso bianchiccio e si presenta così allo stato d'incan-

(1) *Memorie dell'Accademia di Torino*, t. III, pag. 483.

(2) Si veggano i suoi *Élémens de physique*. Parigi 1832, t. I, p. 1ª, pag. 424.

(3) Thénard, *Chimie*, 3ª edizione. Parigi 1821, t. I, pag. 172.

descenza. L'idrogeno abbrucia e continua la combustione sinchè avvi di questo gas ed ossigeno per sostenerla. Se una corrente d'idrogeno è diretta sopra un pezzetto di platino spugnoso esposto all'aria comune, accade lo stesso fenomeno e la corrente s'infiamma; come pure lo presenta la polvere nericcia, che si ricava dalle miniere di platino, e che prima si riscalda al calor rosso per privarla dell'umidità. Un pezzetto di platino spugnoso o in polvere collocato nell'idrogeno contenuto in un recipiente, dove poscia s'introduce dell'ossigeno, genera una terribile esplosione (1).

Il palladio, il rodio, l'iridio si comportano nelle medesime circostanze come il platino in filo o in foglia. Coll'osmio si ottiene l'egual fenomeno, quando però sia previamente riscaldato a 45°; come pure coll'oro riscaldato a circa 50°; coll'argento a 120° in 130°. Il carbone, il vetro, la pietra pomice e la porcellana agiscono nella stessa maniera a temperature vicine a 250°. Sementini ha trovato che colla canutiglia d'argento si ha pure l'ignizione mediante la corrente d'idrogeno. Tutti questi corpi, come il platino, perdono tale proprietà soggiornando a lungo nell'aria; ma dopo essere stati riscaldati al vivo fuoco la riacquistano. Ciò deriva dai vapori che assorbono e si mettono aderenti a corpi così divisi. Ridolfi infatti espose all'aria del platino spugnoso previamente riscaldato al rosso; prima era del peso di grammi 0,24 (grani 4,8) e dopo 36 ore d'esposizione lo trovò di grammi 0,33 (grani 6,75). In tale stato non si riscaldava sotto l'azione della corrente d'idrogeno, e sottoposto al calore sviluppò del vapor acqueo. Se il platino così preparato si conserva nel vuoto o in un'aria molto secca, non perde la proprietà di diventare incandescente per mezzo dell'idrogeno (2). Il fenomeno avviene anche con altri gas (3); ma mentre cessa nel vuoto pneumatico, se si lascia però nel recipiente tant'aria d'avere la tensione di 40 centimetri, il platino diventa incandescente sotto l'azione della corrente d'idrogeno (4).

Una corrente di vapore d'etere o d'alcoole, diretta sopra il platino spugnoso, produce pure l'ignizione, quando però siasi un poco riscaldato il metallo. Si pongono altresì alcune gocce d'etere o d'alcoole in un piccolo vaso di vetro (un'ampollina per es.) che si fanno

(1) Chi bramasse conoscere il processo per preparare il platino spugnoso può consultare gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIII, pag. 211.

(2) *Antologia*. Firenze 1824, fascicolo di dicembre, pag. 147.

(3) *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. XXII, pag. 181.

(4) *Annales de physique et de chimie*, fasc. novemb. 1828, pag. 329.

evaporare ad un lieve calore: se s'immerge dentro il vapore un filo di platino del diametro di millim. 0,35 riscaldato alla fiamma d'alcoole od in altro modo senza affumicarlo, esso diventa tosto splendente quasi al rosso bianco, e continua ad essere incandescente sinchè vi ha a sufficienza vapore ed aria. Una sottilissima lamina d'oro immersa nel vapore dell'etere diventa incandescente, quando sia stata previamente riscaldata, come sperimentò Fusinieri (1).

Della proprietà della spugna di platino, di sviluppare calorico a contatto coll'idrogeno, si è fatta un'applicazione costruendo l'*accendilume a platino*. Quest'apparato è formato del piccolo gasometro di vetro (§. 669), il quale è riempiuto d'acqua mista ad acido solforico. Un pezzo di zinco, ritenuto sul fondo del gasometro, attrae a sè l'ossigeno e lascia libero l'idrogeno dell'acqua, il quale occupa l'intera capacità del gasometro, espellendone il liquido che si raduna nel vaso annesso. Il gas, premuto dalla colonna d'acqua, esce dal tubo laterale tosto che se ne apre la chiave, si presenta in corrente alla spugna di platino, che gli sta di contro, la riscalda e si accende.

1188. Nelle combinazioni e nelle mescolanze chimiche avviene talvolta una diminuzione più o meno grande di temperatura o per la diminuita densità o per l'accresciuta capacità pel calorico del composto. Da questo principio dipendono i fenomeni delle *mescolanze frigorifere*. Il limite del raffreddamento che nasce in queste unioni è determinato dalla temperatura, cui i componenti cessano d'esercitare fra loro un'azione chimica. La neve e il sal comune non avendo più fra loro azione sensibile a 18 in 20 gradi centesimali sotto lo zero, non giungono a produrre un freddo al di là di —20°. Gli Academici del Cimento istituirono alcune sperienze di raffreddamento prodotto dalle azioni chimiche (2). Mescolarono essi due parti di acido solforico con una di sal ammoniaco: il miscuglio entrò in effervescenza, aumentò in volume e si produsse una diminuzione di temperatura, per la quale il termometro si abbassò di parecchi gradi. Le mescolanze frigorifere si hanno d'ordinario colla neve o col ghiaccio e qualche sale od acido, e gl'Italiani furono i primi verso l'anno 1550 a rinfrescare l'acqua e il vino per mezzo della mescolanza di ghiaccio o neve col salnitro. Per queste sperienze servono meglio i sali cristallizzati, i quali, per la liquefazione dell'acqua di cristallizzazione, assorbono ancor più calorico. La potassa caustica cristallizzata e il clo-

(1) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di Brugnatelli. Pavia 1824, dec. 2ª, t. VII.
(2) *Saggi di naturali sperienze*, edizione succitata, pag. 170.

ruro di calce pure cristallizzato sono perciò frigoriferi molto energici (1). Per ottenere il massimo effetto, le materie devono essere unite nelle debite proporzioni, ed ecco alcune di queste la cui temperatura è espressa al solito in gradi centesimali.

| | *parti* | | *parti* | | |
|---|---|---|---|---|---|
| NEVE O GHIACCIO TAGLIUZZATO | 1 | e sal comune | 1 | da | 0°,0 a —17°,8 |
| | 2 | e lo stesso | 1 | « | —17,8 a —20,5 |
| | 1 | ed acido solforico diluito | 1 | « | —7,0 a —51,0 |
| | 1 | ed acido nitrico diluito | $^1/_2$ | « | —25,0 a —49,0 |
| | 1 | e lo stesso | 1 | « | —17,0 a —43,0 |
| | 1 | e cloruro di calce cristal. | 1,3 | « | —0,0 a —49,0 |
| | 1 | e lo stesso | 1,5 | « | —0,0 a —27,8 |
| | 1 | e potassa caust. cristal. | 1,3 | « | —0,0 a —28,0 |
| | 1 | e nitrato d'ammoniaca | 0,5 | « | —27,0 a —31,6 |
| SOLFATO DI SODA | 1,5 | ed acido nitrico diluito | 1,0 | « | +10,0 a —19,0 |
| | 1 | ed acido solfor. diluito | 0,8 | « | +10,0 a —9,0 |
| | 1,6 | ed acido cloridrico | 1,0 | « | +10,0 a —17,0 |

Mescolando la neve collo spirito di vino si ha pure abbassamento di temperatura da zero a —10°. Raffreddamenti più energici si ottengono colla liquefazione e successiva aeriformazione di alcuni gas previamente solidificati, dove il calorico assorbito è intieramente dovuto all'accresciuta capacità acquistata dal corpo nel cambiamento di stato, come più avanti avremo occasione di esaminare. Si sono fatti conoscere altrove i risultati del raffreddamento prodotto da alcuni liquidi nell'evaporare (§. 1015).

1189. Le combustioni sono sovente accompagnate dalla fiamma, la quale è prodotta da qualche gas o vapore del combustibile, che abbrucia. Nella maggior parte dei casi la fiamma è generata dalla combustione dell'idrogeno mescolato con altre sostanze e principalmente col carbonio, e in alcune circostanze da altri gas come l'ossido di carbonio e il cianogeno. Tuttavolta la fiamma è prodotta eziandio da tutti i vapori delle materie combustibili, come sono quelli di solfo, di

(1) Pel freddo prodotto dalle mescolanze frigorifere si vegga la *Memoria sopra il freddo artificiale* di L. Brugnatelli, nel suo *Giornale di chimica, fisica* ecc., Pavia 1813, t. VI, pag. 122. Villeneuve ha costrutto un apparato, che è stato riconosciuto molto utile in pratica per avere del ghiaccio in poco tempo colla mescolanza frigorifera del solfato di soda e del acido cloridrico del commercio. *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XX, pag. 209.

alcoole, d'etere e simili, quando vi sia abbastanza calore per ridurle allo stato aeriforme ed a generare l'accensione. Brugnatelli distingue la *fiamma* dalla *vampa*: la prima è sempre accompagnata da chimica combinazione, mentre la seconda consisterebbe, secondo lui, in quel vapore o quell'esalazione calda e lucida che spandono i corpi arroventati, senza che l'ossigeno dell'aria vi partecipi in alcun modo. La vampa ci è mostrata dalla lava bollente entro i crateri dei vulcani, del vetro in fusione ed arroventato nei crogiuoli delle vetraie ed in qualche caso dallo splendore del fosforo (§. 880). *La fiamma in generale consiste in una materia gazosa riscaldata al punto d'essere luminosa e dotata di temperatura superiore al calore bianco dei corpi solidi.*

1190. L'olio, il sego, la cera ed altre somiglianti materie non sono per se stesse infiammabili, avanti di essere decomposte e dar luogo alla sostanza volatilizzabile, dalla cui combustione nasce la fiamma. Infatti un cerino acceso, un carbone ardente avvicinati a quei corpi non li accendono, e si spegnono immersi in essi. Il calore del cerino avvicinato invece all'alcoole ed all'etere, fa ben presto evaporare questi liquidi, e il vapore prende fuoco e comparisce tosto la fiamma. Per generare la fiamma nell'olio, nel sego e nella cera, che non sono evaporabili, bisogna decomporli, e questa decomposizione si fa nel lucignolo stesso dove si produce un fluido aeriforme infiammabile. Estinguendo una candela od una lucerna che ardono, avviene il più delle volte che il lucignolo conserva qualche parte ignescente, e la decomposizione del liquido continua esalandosi dei prodotti gaziformi sotto forma di denso fumo. Avvicinando un cerino acceso all'estremità superiore del fumo, che forma una colonna di 6 e più centimetri, esso s'infiamma e l'infiammazione si propaga dall'alto al basso riaccendendo il lucignolo. Il liquido, diviso in sottilissimi fili dentro i canaletti capilari della bambagia, viene facilmente decomposto dal calore della fiamma una volta che abbia incominciato ad ardere e l'alimenta continuamente per successive decomposizioni. La decomposizione delle legna e di altri combustibili solidi richiede un calore più intenso; tuttavolta la fiamma di queste materie dipende dagli stessi principii.

Quando nella fiamma si contengono delle esilissime particelle allo stato concreto, esse ne mantengono opaco il centro, diventano incandescenti e ne rendono luminosissima la superficie esterna. Le fiamme del gas idrogeno puro, del vapore alcoolico e di altre sostanze non riescono splendenti come quelle internamente sparse di particelle concrete (§. 880).

1191. Si è studiata la fiamma nelle diverse circostanze, che concorrono ad aumentarla, a diminuirla e ad estinguerla. Davy si è principalmente occupato con parecchie e variate sperienze a considerare la fiamma sotto ogni lato indagando le modificazioni che prova in un'aria più o meno rarefatta, e gli effetti che producono alcuni gas mescolati col fluido che alimenta la fiamma o con quello da cui è sostenuta (1).

Primieramente diremo che la fiamma aumenta di volume a misura che diminuisce la pressione dell'aria circostante, e ciò fino ad un certo limite oltre il quale si estingue. L'esperienza conferma dunque che la fiamma è composta di fluidi aeriformi, i quali si dilatano al diminuire la pressione, e cessano di ardere quando per la rarefazione vien meno l'ossigeno per sostenere la combustione. Diminuendo il comburente diminuisce del pari il calore, e quindi manca la temperatura necessaria alla combustione e la fiamma si estingue. Tutte queste deduzioni sono confermate dalle sperienze dirette dall'illustre fisico inglese, il quale ha trovato che i gas combustibili, i quali esigono meno calore per abbruciare, continuano a fiammeggiare in un'aria più rarefatta. Il gas idrogeno percarburato, che richiede una temperatura maggiore dell'idrogeno puro per essere infiammato, cessò di ardere ad $^1/_{11}$ di rarefazione, mentre il secondo gas continuò ad abbruciare sino ad $^1/_{13}$. Le fiamme dell'alcoole, della cera, si estinsero perciò ad $^1/_5$ o al più ad $^1/_6$ di rarefazione. Il solfo ha continuato ad abbruciare nell'aria rarefatta sino ad $^1/_{20}$ ed il fosforo sino ad $^1/_{60}$ della pressione ordinaria. Da questi dati si potrebbe stabilire l'altezza nell'atmosfera, cui si estinguerebbe la fiamma d'una di quelle sostanze. Avendo riguardo alla rarefazione dell'aria a diverse altezze nell'atmosfera (§. 640), secondo i calcoli di Davy risulta che la fiamma della cera dovrebbe spegnersi all'altezza di 14 in 16 chilometri (9 in 10 miglia inglesi), quella dell'idrogeno all'elevazione di 19 in 21 chilometri (12 in 13 miglia) a quella del solfo di 24 in 26 chilometri (15 in 16 miglia).

Le circostanze, che facilitano più o meno la combustione in aria più o meno rarefatta, si verificano eziandio pei miscugli esplosivi. Il miscuglio d'idrogeno ed ossigeno non esplode al calore della scintilla elettrica quando è ridotto ad $^1/_{18}$ della sua ordinaria densità; mentre

(1) Pei lavori di Davy sulla fiamma si possono consultare gli *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. III, pag. 129, e t. IV, pag. 260-287 e 337-347, come pure lo stesso volume, pag. 110-111 e pag. 347-356.

quello di cloro e d'idrogeno esplode ancora ad $^1/_{24}$ di rarefazione.

I gas combustibili riscaldati, mentre diminuiscono la loro facoltà d'infiammarsi in virtù della rarefazione prodotta dal calorico, l'accrescono d'altra parte per l'accrescimento della temperatura, come viene confermato dalle sperienze di Davy.

1192. Un miscuglio gasoso, che abbrucia ed esplode ad un certo grado di calore, perde questa sua proprietà mescolato con altro gas, che altera le giuste proporzioni dei componenti per la loro compiuta combustione. Il miscuglio di 2 in volume d'idrogeno ed 1 d'ossigeno si accende con esplosione al calore della scintilla elettrica; questo miscuglio perde tale proprietà unendone una parte in volume con circa 8 di altro idrogeno, ossia 9 d'ossigeno puro, 11 di deutossido d'azoto, 1 d'idrogeno protocarburato, 2 di gas solfidrico, $^1/_2$ d'idrogeno percarburato, 2 di gas cloridrico e $^5/_6$ di gas acido fluorico silicato. Davy ha istituito delle sperienze per riconoscere se questi effetti dipendevano dalla differente capacità di quei gas pel calorico, per cui impedirebbero più o meno l'innalzamento della temperatura, cui s'accende il miscuglio; ma dalle medesime non si ritrae tale conseguenza e pare che vi abbia influenza qualche altra causa, unitamente all'accennata.

Qualunque sia la causa, che impedisce l'accensione del miscuglio per l'unione di altri gas, si trova però che i miscugli esplosivi, i quali si accendono a minor calore, abbisognano l'aggiunta di maggior quantità d'altro gas per impedire la loro combustione. Infatti il miscuglio a parti eguali di cloro e d'idrogeno s'infiamma ancora mescolato con 18 parti d'ossigeno; mentre quello d'idrogeno protocarburato ed ossigeno, nella proporzione conveniente alla loro combinazione che è di 1 a 2, cessa d'essere infiammabile mescolato con tre volte il suo volume d'ossigeno. Parimenti la fiamma della candela si estingue tosto nell'aria contenente $^1/_{10}$ di gas acido fluorico silicato od $^1/_6$ di gas cloridrico, mentre la fiamma dell'idrogeno si mantiene assai bene in queste mescolanze. Si trova inoltre che nell'aria mista, dove si estingue la fiamma d'idrogeno, continua ad abbruciare quella del solfo.

Per le dimostrazioni nella scuola si può istituire l'esperienza seguente: s'introduca un cerino acceso in una boccia a collo lungo e stretto, e vi si lasci ardere sino che si estingua da sè. Si estragga poscia il cerino e si chiuda la boccia col dito, e dopo averlo riacceso s'introduca di nuovo nella boccia: esso si spegnerà avanti di giungere alla parte inferiore del collo, e ciò non solo in causa della

minore quantità d'ossigeno rimasto nell'aria rinchiusa, ma eziandio dell'acido carbonico formatosi e misto colla medesima. Ora, introducendovi la fiamma procuratasi con un getto d'idrogeno, essa arde nella boccia dove si spegneva quella del cerino. Giunto al punto dello spegnimento della fiamma d'idrogeno, s'introduca nella boccia del solfo acceso, il quale arde per qualche istante. Introducendovi infine del fosforo in combustione, esso continua ad ardere nel miscuglio della boccia, dove si spegneva il solfo.

1193. La combustione dei gas è impedita dalla mescolanza del vapor acqueo. Per estinguere la fiamma del solfo è necessario una grande quantità di vapore. Il miscuglio d'idrogeno ed ossigeno ha fatto esplosione quantunque siasi unito ad esso cinque volte in volume di vapore acqueo. Ciò dipende dalla temperatura, che bisogna dare al vapore per mantenerlo allo stato aeriforme, la quale temperatura, come si disse, accresce la facoltà combustiva. Con $^1/_3$ in volume di vapore unito al miscuglio d'idrogeno protocarburato e d'aria si è tolto a questo la facoltà di esplodere, al qual effetto si richiede soltanto $^1/_6$ d'azoto.

1194. Da quanto si è esposto si apprende in generale che un fluido elastico combustibile ha mestieri d'un certo calore per essere infiammato. Può accadere però che il fluido stesso, senza essere acceso, entri in combustione e riscaldi un corpo solido non molto conduttore del calorico, mantenendolo alla temperatura necessaria per abbruciare lentamente nuovo fluido, che giunge a contatto del solido. Questo principio è confermato dall'esperienza e serve di fondamento alla spiegazione di qualche fenomeno che andiamo a dichiarare.

Nel miscuglio d'idrogeno ed ossigeno od aria si è veduto che la laminetta e il filo di platino diventano incandescenti senza che il miscuglio faccia esplosione e senza che cessi la combustione; lo stesso avviene del vapore d'etere (§. 1187). Si è trovato altresì che i vapori d'alcoole, di nafta, di canfora, d'essenza di trementina ed altri fluidi in presenza dell'aria presentano somiglianti effetti. Il platino ed il palladio non richieggono d'essere previamente riscaldati come gli altri metalli, ed appunto essi sono meno conduttori di questi; da cui si scorge la condizione che il metallo sia poco conduttore per mantenere la combustione e l'incandescenza.

La *lampada aflogistica* o *lampada a spira di platino*, è costrutta appunto su questa proprietà. Essa consiste in una piccola boccia *b* di vetro (fig. 252), che ha assicurato al suo collo una viera *c* d'ottone con tubettino, nel quale passa uno stoppino di fila di bambagia, che

pesca nell' etere od alcoole raffinato contenuto nel vasellino. All'estremità esterna del piccolo tubo è attaccato per la base la spira cilindrica *d* di sottile filo di platino, nel cui asse si prolunga lo stoppino senza toccare possibilmente il filo. Il liquido sale pei canaletti capillari della bambagia sino all'estremità superiore. Si accende il lucignolo così disposto, che arde con debole fiamma: e il filo metallico si riscalda alla temperatura della fiamma medesima. Si estingue poscia la lampada collo spegnitoio, e il metallo ha ancora abbastanza calore per evaporare il liquido; questo vapore abbrucia lentamente e tiene arroventato il platino, conservandolo in tale stato finchè nella boccia abbiavi etere od alcoole per alimentare l'evaporazione e quindi la lenta combustione. Sullo stesso principio è costrutta la lampada per la terza delle sorgenti, che hanno servito allo studio del calorico irradiante (§. 1064).

Il fenomeno della lenta combustione, somigliante a quella della lampada descritta, si presenta nelle lucerne e nelle lampade ad olio ed anche per breve tempo nei lucignoli delle candele di sego. La sostanza carbonosa, che si accumula alla sommità del lucignolo, adempie all'ufficio del platino e rimane incandescente dopo spenta la fiamma: questo stato d'incandescenza è sufficiente talvolta a decomporre l'olio o il sego e di presentare così il gas atto ad alimentare la combustione ed a sviluppare nuovo calore per mantenere l' incandescenza.

1195. Altri suggerimenti importanti ha dato la scienza a norma dei principii spiegati. Nelle miniere di carbon fossile si sviluppa in notabile quantità del gas idrogeno carburato, il quale si accumula negli anditi e nelle camere di quelle cave e forma coll'aria atmosferica un miscuglio esplosivo. Questo miscuglio si accende d' ordinario al calore della fiamma d' una lampada ad olio o d' una candela producendo detonazioni e rovine. I lavoratori delle miniere, essendo obbligati di servirsi di lumi accesi per introdursi ed aggirarsi in quegli oscuri antri, furono appunto vittime d'esplosioni consimili. Una serie d'indagini e d'esperienze ha condotto Davy a rimediare a simili inconvenienti.

Rammentiamo che tutti i mezzi, atti a produrre raffreddamento in un miscuglio esplosivo, tendono ad impedire l'accensione e quindi la detonazione. I metalli, per la loro grande facoltà conduttrice, hanno la proprietà di disperdere il calorico ancor più dei fluidi aeriformi, i quali mescolati coi miscugli esplosivi rendono più difficile per tal modo la loro detonazione (§. 1192). Si formano quindi delle reti o tessuti fatti di sottili fili di metallo, che lasciano fra loro dei piccoli

pertugi o maglie, per dove, passando il gas esplosivo, viene diviso e raffreddato ed impedita con ciò la sua infiammazione. Si prenda una di queste reti a maglie non molto grandi e si ponga orizzontalmente sulla fiamma d' una candela: si osserva che la fiamma stessa viene troncata, mentre il fluido aeriforme spento l' attraversa e s' innalza sotto forma di fumo, che si può riaccendere accostandovi un lume. Il miscuglio infiammato dunque nel suo passaggio a traverso la rete metallica si spegne: è questa una proprietà preziosa per l'industria. I pertugi della rete metallica devono essere più o meno stretti secondo la combustibilità del gas infiammabile. Quanto più il fluido è facile ad accendersi, tanto più debb'essere angusto il pertugio della rete metallica. È appunto per questo che la fiamma prodotta dal gas idrogeno fosforato passa pei pertugi della rete metallica capace d' intercettare quella del gas idrogeno carburato. La rete metallica, secondo Davy, che abbia 100 pertugi per ogni pollice quadrato inglese, il che equivale a 15 in 16 per ogni centimetro quadrato, fatta di filo del diametro di $^1/_{60}$ di pollice o di millim. 0,4, intercetta alla temperatura ordinaria la fiamma della lampada ad alcoole e non quella del gas idrogeno; e la stessa rete, previamente riscaldata, non impedisce il passaggio neppure alla fiamma d' alcoole. La grossezza del filo contribuisce a troncare la fiamma; giacchè opera diversamente sui gas dotati di differente grado di combustibilità. Un filo di ferro del diametro di $^1/_{40}$ di pollice inglese o millim. 0,63, riscaldato al rosso ciriegia non accende il gas idrogeno percarburato, mentre infiamma il gas idrogeno puro. Se ha la grossezza di $^1/_8$ di pollice o millim. 3,1, riscaldato allo stesso grado accende anche il gas idrogeno percarburato. Un filo di $^1/_{500}$ di pollice o millim. 0,05 debb' essere riscaldato al calor bianco per accendere l' idrogeno puro. Un filo del diametro di $^1/_{40}$ di pollice o di millim. 0,63 riscaldato anche al calor bianco non accende il miscuglio combustibile delle miniere di carbon fossile o il gas idrogeno protocarburato. Una rete metallica di 600 maglie per ogni pollice quadrato o di 93 per ogni centimetro superficiale intercetta la fiamma del solfo.

La proprietà delle reti metalliche di troncare le fiamme è realmente dovuta ad un poter refrigerante dei fili? Libri, Murray, e qualche altro fisico spiegano il fenomeno ritenendo la fiamma, non già un complesso di particelle staccate in combustione, ma una specie di membrana, la quale non può internarsi nè passare pei piccoli pertugi del tessuto senza spegnersi, alla quale opinione si oppongono le sperienze di Davy. Noi opiniamo che la facoltà conduttrice del

metallo nel troncare la fiamma non deve avere quella parte che pretende Davy; poichè abbiamo più volte sperimentato che il tessuto, formato con uno dei più cattivi conduttori quali sono i fili d'amianto, intercetta così bene la fiamma come la rete metallica. Alla produzione del fenomeno vi deve concorrere eziandio qualche altra cagione, e con molta probabilità l'attrazione della materia solida del tessuto pel fluido infiammato, il che genererebbe una diminuzione del fluido in combustione e quindi una rarefazione capace di estinguere la fiamma.

1196. Qualunque sia la cagione del fenomeno, è indubitabile che le reti metalliche impediscono la diffusione della fiamma. Su questo principio è appunto fondata la *lanterna di sicurezza* inventata da Davy a vantaggio degli operai, che lavorano nelle miniere di carbon fossile. Quest'apparato ha la forma di cilindro o d'una specie di gabbia cilindrica fatta di rete metallica (fig. 253) stabilmente congiunta colla viera *b*, mediante la quale si assicura a vite alla lampada C. La gabbia è chiusa superiormente con due o tre coperchi *a*, *d*, *e* pure di rete metallica, disposti parallelamente al piano della lampada. Comunemente la rete metallica è formata di fili di ferro o di rame in modo che ogni pollice quadrato inglese comprenda 64 maglie ossia 10 ogni centimetro quadrato. Il filo ha per lo meno il diametro di $^1/_{40}$ di pollice o millim. 0,63. Si fanno delle lanterne con fili metallici di minore diametro ed a maglie più strette, le quali servono per quei luoghi che contenessero fluidi aeriformi più facilmente infiammabili. La lanterna ha unito un ordigno col quale, senza aprirla, si può smoccolare il lucignolo. Essa è stata migliorata da Combes, il quale, alla rete metallica corrispondente alla fiamma, ha sostituito un cilindro di vetro con cui si ha una luce più abbondante.

Entrando colla lanterna accesa in un'atmosfera infiammabile, il miscuglio gazoso, che vi s'introduce ed attornia il lucignolo, quando si accendesse non può propagarsi così infiammato a traverso la rete metallica dell'apparato e produrre la detonazione del gas nella miniera. La rete d'altronde lascia passare abbastanza luce per la visione degli oggetti circostanti e non impedisce l'accesso a nuovo fluido per alimentare la fiamma. Affine di non rimanere al buio, nel caso che si spegnesse la lanterna per l'esplosione della piccola porzione di miscuglio in essa contenuto, si suole talvolta congiungere al lucignolo la spira di platino come nella lampada aflogistica (§. 1194). In tal caso, colla scorta del chiarore prodotto dal filo di platino incandescente, il minatore può aggirarsi per gli anditi di quei sotterranei e

sortirne. Dalla luce che prenderà il metallo si giudica eziandio della natura dell' aria da cui il minatore è circondato. Sinchè l' ignizione continua non vi ha pericolo per la respirazione, avendo Davy trovato che l'arroventamento del metallo cessa, quando l'aria mefitica forma circa i $^2/_5$ del volume totale del miscuglio gazoso.

1197. La lanterna di sicurezza è uno dei ritrovati più utili all' umanità, e non erano ancor trascorsi 10 mesi dalla sua invenzione che si vide passata nelle mani di parecchie centinaia di lavoratori delle più pericolose miniere della Gran Bretagna, senza che in quell'intervallo di tempo sia accaduto alcun accidente funesto; mentre in altre miniere meno pericolose, dove non venne ancor adottata, parecchie persone rimasero vittima di terribili esplosioni.

L' uso della lanterna di sicurezza può essere introdotto con vantaggio nelle polveriere, nelle manifatture di cotone ed altre di simile genere, dove si trovano parecchie sostanze infiammabili; come pure nelle stalle, nei fienili, nelle bigattiere e in alcuni luoghi dell' interno delle case, dove trovansi delle materie di facile accensione.

Le reti metalliche si sono applicate eziandio alla costruzione delle armature proposte da Aldini per guarantire i pompieri dall' azione diretta delle fiamme e dalla comunicazione rapida del calore, e metterli con ciò in istato di aggirarsi e di resistere per qualche tempo al fuoco degli incendi. I pompieri forniti di tali armature e con gerle fatte egualmente di rete metallica possono trasportare e condurre a salvamento attraverso le fiamme persone, oggetti di valore e cose preziose. Coi tessuti di metallo, e meglio con quelli d'amianto proposti da Vanossi di Chiavenna, si costruirono visiere, scudi, guanti, calzari ed altri vestimenti consimili, coi quali i pompieri si mettono in istato di percorrere i luoghi incendiati passando a traverso le fiamme e camminando sopra materie ardenti.

1198. Il *calore animale* è una sorgente, che è incessantemente in attività, finchè l'individuo vive, e dipende da un chimico processo mediante il quale ha luogo l' operazione della natura, che appellasi *respirazione*. Interessa d'esaminare principalmente nell'uomo questa fonte di calorico tanto per rapporto alla causa della sua produzione quanto agli effetti che ne risultano.

In generale i corpi degli animali sembrano sottrarsi alla legge dell' equilibrio del calorico (§. 1032), trovandosi che essi non hanno quasi mai la temperatura del mezzo in cui vivono. Il calore degli uomini diversifica da quello dell'aria dove sono di continuo immersi:

gli animali delle regioni polari sono più caldi del ghiaccio sul quale riposano; quelli della zona equatoriale conservano una temperatura minore dell'aria ardente che li circonda e che respirano. Risiede dunque negli animali una fonte propria di calorico e sono forniti d'altra parte di qualche mezzo per diminuire al bisogno il grado di calore eccedente la loro temperatura. La questione del calore degli esseri viventi si riduce quindi a quattro punti essenziali: I. con quale processo si mantiene negli animali una sorgente inesausta di calorico; II. quali sono le quantità di calorico che essi producono in un dato tempo; III. qual'è la loro temperatura; IV. in che modo la conservano qualunque sia quella dell'ambiente dove vivono.

1199. La respirazione è la fonte principale per cui nell'uomo e in molti altri animali va riproducendosi nuovo calorico, riesce necessaria alla vita, e quando manchi il fluido per cui essa si adempie, l'individuo soccombe e muore. L'uomo infatti e gli altri animali a sangue caldo provano un incomodo quando vien meno l'aria che devono respirare, e quando venisse levata dall'ambiente dove vivono, soccomberebbero ben presto e morrebbero. La privazione della respirazione è indizio di morte, a meno che essa non sia soltanto sospesa, per cui è mestieri tosto riattivarla nella sua pienezza col sussidio di qualche mezzo artificiale (§. 671), pel timore che non cessi del tutto la vita.

Alfine di mostrare nella scuola la necessità dell'aria per la respirazione, si suole collocare un pollo od altro uccello sotto la campana della macchina pneumatica estraendone l'aria: dopo alcuni colpi di stantuffo l'animale s'inquieta, indi si gonfia per l'espansione dei fluidi interni, e cade ben presto asfittico. Ridonandogli tosto l'aria, ripiglia spesso le sue forze e ritorna in vita. La rarefazione dell'aria, portata ad un certo punto, produce inevitabilmente la morte, la quale è accompagnata non solo da gonfiagione, ma da tremore, sbattimento, vomito, emorragia ed altri sintomi anche in causa della rottura dei vasi e dei visceri prodotta dall'espansibilità dei fluidi interni. È per tale motivo che le persone, le quali s'innalzarono a grandi altezze negli aerostati, provarono gli effetti della rarefazione dell'aria sentendosi estenuate di forze e gran bisogno di riposare, e di accelerare il respiro per supplire alla diminuzione dell'aria necessaria alla vita.

L'attitudine dell'aria alla respirazione ed alla vita è dovuta all'ossigeno, che entra come uno dei suoi componenti (§. 726). Fontana e Priestley hanno sperimentato che, a pari circostanze, l'animale

vive più a lungo nel puro ossigeno che nell'aria atmosferica, contenendone questa soltanto un quinto del suo volume totale.

1200. Essendosi riconosciuto la parte che ha l'ossigeno nella combustione (§§. 1175 e 1180), si è reso chiaro anche il fenomeno della *respirazione*, la quale consiste in *quella funzione animale, dove l'ossigeno dell'aria inspirata dall'individuo si combina col carbonio del sangue, formando il gas acido carbonico, ch'egli poscia aspira assieme all'altro componente dell'aria medesima*. Si comprende di già come la respirazione sia una specie di combustione, nella quale si sviluppa nuovo calorico che ripara alle perdite continue fatte dall'animale.

Respirando l'aria priva d'ossigeno e mista ben anche ad altri gas, che non intacchino il polmone, l'animale soffre come se tenesse sospesa la respirazione. È per ciò che alcuni fluidi si possono respirare per un tempo eguale a quello che si tiene sospeso il respiro. Questo tempo pel uomo si valuta di circa un minuto primo, e, facendosi d'ordinario in tal intervallo al più 20 respirazioni, ne consegue che un gas, che non eserciti azione chimica sul polmone, si può respirare per 20 volte impunemente. Fontana ha istituito diversi sperimenti su se medesimo, dai quali si deduce: I. la respirazione si può tenere sospesa per circa 60 secondi dopo che il polmone ha fatto la sua inspirazione naturale; II. può essere tenuta sospesa per 41″ dopo l'aspirazione naturale; III. la sospensione si limita a 37″ dopo un'aspirazione celere e violenta; IV. dopo un'inspirazione celere e violenta la sospensione può durare 65″. Egli ha trovato che in un minuto si respira 16 in 18 volte. L'affanno però il più lieve è capace di accelerare la respirazione e portarla a 25 in 30 e più volte per minuto, e l'aria rarefatta produce quest'effetto (§. 1199). I tempi indicati variano secondo i diversi stati e la differente età dell'uomo, e la respirazione è più lenta nella vecchiaia che nella gioventù. Allorquando l'aria aspirata si raccoglie in una vescica e si continua di nuovo ad inspirarla, i tempi riferiti cangiano. Nella prima sperienza si giunge a respirare la stess'aria per 70 e più secondi.

Molte sperienze furono istituite per istabilire la quantità d'acido carbonico che si forma durante la respirazione (1); essa in generale varia in ragione dell'età, del sesso e della costituzione degli individui. A pari circostanze, l'uomo ne emette in quantità maggiore della

(1) Alcuni di questi risultati si possono vedere negli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. x, pag. 123 e 125, come pure t. xvi, pag. 25.

donna; nel primo va crescendo dagli 8 sino ai 30 anni con diverse proporzioni: a partire da quest' età decresce, e questa diminuzione succede per gradi tanto più notabili quanto più l'uomo si avvicina all' estrema vecchiaia. Secondo Allen e Pepys, l'aria inspirata una sola volta n' esce carica di 8 ad 8,5 per 100 di gas acido carbonico, ed entrata nel polmone tante volte quanto è possibile, cioè sino allo svenimento, n'esce carica del 10 per 100. Dumas, che ha sperimentato su se medesimo, lo riduce al 3 od al più al 5 per 100, e soltanto in qualche caso particolare può innalzarsi al 7 od 8 per 100 (1). Allen e Pepys stabiliscono a 358 grammi la quantità di carbonio che un uomo consuma in 24 ore, che Dumas riduce al più a 300 grammi, compresavi la porzione d' idrogeno con cui si è formata dell' acqua. Per consumare i 300 grammi di carbonio e d' idrogeno, si richiede l' ossigeno contenuto in metri cubi 2,75 d' aria alla densità ordinaria; e dalle sperienze di Dulong risulta pure che tutto l' ossigeno scomparso dall'aria respirata è maggiore di quello necessario alla formazione dell' acido carbonico prodotto, per la ragione che porzione si combina coll'idrogeno e forma dell'acqua. Le differenze su citate nascono dalle diverse maniere di sperimentare, per cui ritenendo l' ultimo numero si può definire più particolarmente *la respirazione, quella funzione animale in cui l'uomo è costretto a privarsi di 300 grammi di carbonio e d' idrogeno del proprio sangue nell' intervallo di 24 ore.*

Si scorge dunque come, nella combinazione di 300 grammi di carbonio ed idrogeno del proprio sangue coll'ossigeno dell'aria ossia nella lenta combustione dei medesimi in 24 ore, l' uomo abbia una sorgente capace a riparare le perdite continue di calorico ch' egli va facendo. Per non lasciar mancare il combustibile egli ha bisogno di rimettere cogli alimenti quei 300 grammi di materia, e se questi mancassero la vita dell' uomo perirebbe come si estingue la fiamma della lampada mancandole l'olio.

L'aria può avere la giusta proporzione di ossigeno ed essere nocevole all' uomo ed agli animali per le materie con cui è mescolata; nello stesso modo che perde la proprietà combustiva un fluido col rimescolamento di altro fluido (§. 1192). L' aria diventa mefitica ed irrespirabile in causa della respirazione stessa e della traspirazione cutanea: colla prima si mescola ad essa dell' acido carbonico, colla seconda del vapor acqueo e delle materie organiche. È perciò del

(1) *Chimica statica* ecc. di Dumas, traduzione italiana. Milano 1846, pag. 34.

massimo interesse per l'umanità di ventilare e cambiare sovente l'aria dei luoghi, dove convivono e si radunano per un certo tempo molte persone. Sperienze numerose hanno fatto conoscere che nelle sale di convegno, nelle scuole ecc., onde siano salubri, deve aver luogo la ventilazione in ragione di 6 metri cubi d'aria per ogni persona e per ogni ora (1).

1201. La quantità di calorico, che emettono in un dato tempo gli animali, si determina col calorimetro nella maniera altrove descritta (§. 1038). Si è con questo metodo che alcuni fisici hanno valutato la quantità di calorico sviluppato in un dato tempo (2). I risultati ottenuti in tal maniera da Dulong si accordano con quelli che si hanno, valutando il calorico dalla quantità d'ossigeno consumato per acidificare il carbonio e ridurre in acqua l'idrogeno perduto dall'animale. Valutando a 250 grammi il carbonio ed a 50 l'idrogeno somministrato dall'uomo all'ossigeno dell'aria nella respirazione durante 24 ore, si avrà il calorico da esso sviluppato in questo tempo moltiplicando il primo numero per 7300 ed il secondo per 34444 (§. 1178), cioè:

| | | |
|---|---|---|
| Pei grammi 250 di carbonio . . . . | calorie | 1825000 |
| Pei grammi 50 d'idrogeno . . . . | » | 1722200 |
| Totale del calorico prodotto dall'uomo in un giorno . . . . . . . . | calorie | 3547200 |

Il quale sarebbe capace di elevare chilogrammi 3547,2 d'acqua d'un grado centesimale (§. 1143), oppure poco più di chilogrammi 35 dello stesso liquido da zero all'ebollizione, ossia a fondere chilogrammi 44 di ghiaccio (§. 1140). Gl'individui d'età meno adulta consumano in proporzione minor quantità di carbonio: quello d'un ragazzo dai 9 ai 10 anni si valuta in 24 ore di grammi 133 e d'una ragazza di 126; d'un giovinetto di 16 anni di grammi 225. Ecco i risultati ottenuti pel consumo di carbonio e d'idrogeno in 24 ore da altri animali:

(1) Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. X, pag. 191.

(2) Si veggano gli *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. XXVI, pag. 337, dove sono riportati i lavori di Despretz; ed i nostri *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. IV, pag. 136 e t. XIV, pag. 52, dove si dà ragguaglio delle sperienze di Dulong, ed un cenno storico delle indagini di questo genere.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cavallo | Carbonio | grammi | 2500 | idrogeno | grammi | 27 |
| Coniglio | » | » | 25 | » | » | 2,7 |
| Piccione | » | » | 7 | » | » | 1,0 |
| Cane | » | » | 33 | » | » | 5,0 |
| Gatto | » | » | 17 | » | » | 3,7 |

In generale risulta, come apparisce eziandio dai numeri precedenti, che la quantità d'idrogeno abbruciata dai carnivori è maggiore di quella abbruciata dagli erbivori; il quale eccesso proviene dalle sostanze grasse che i primi consumano. Risulta altresì che gli animali carnivori producono in proporzione meno calorico degli erbivori. Questa sorgente di calore si adopera alla campagna per riscaldare gli ambienti delle stalle, dove l'uomo si ripara dal freddo nell'inverno. Alcuni popoli selvaggi assicurano le carni, di cui devono cibarsi, al dorso del cavallo su cui sale un uomo, che lo spinge ad una corsa lunga ed accelerata. La respirazione di ambidue aumenta e con essa il calor animale, che si sviluppa si concentra sulla carne e le fa subire un certo grado di cottura.

Si fanno ascendere a circa 800 milioni gl'individui della specie umana che vivono continuamente sulla terra e sviluppano calorico, a cui aggiungendo quello svolto dagli altri animali si avrebbe la quantità totale fornita da questa sorgente. Essa è però molto minore di quella fornita dal sole. Infatti, supponiamo che ogni individuo svolga come l'uomo, ritenendo che la minor quantità somministrata dal sesso femminile e dai fanciulli sia compensata da quella che complessivamente sviluppano tutti gli altri animali. Gli 800 milioni produrranno in un giorno il calorico equivalente a fondere 800 milioni di volte 44 chilogr. di ghiaccio; e in un anno 12848000 milioni di chilogrammi. Questo ghiaccio disteso sulla superficie terrestre formerebbe uno strato della grossezza di millim. 0,025, la quale sarebbe 560 mila volte minore dello strato fuso dal calorico del sole (§. 1137).

1202. La temperatura degli animali, in virtù del calorico svolto nella respirazione, è costante e differisce per le diverse specie. Giovanni Davy, fratello del celebre Onofrio, ha fatto su questo soggetto delle osservazioni interessanti nel corso dei suoi viaggi (1). Egli ha esaminato la temperatura degli uomini dell'equipaggio a differenti latitudini, avendo riconosciuto che essa cresce nei paesi caldi. Quest'accrescimento però è sì tenue, non giungendo al più ad 1° C., che

(1) *Edinburg philosophical Journal*, n° XXVI, pag. 300.

il calore umano si può ritenere costante nei diversi climi e nelle differenti stagioni. Ha fatto altresì delle osservazioni sul calore degli abitanti dell'isola di Ceylan, degli Ottentotti, dei Negri del Madagascar e di Mozambico, degli Albini, dei Malesi, dei Cipesi o *Cipayes*, dei preti di Buda che mangiano soltanto legumi, e dei Vaida che si cibano unicamente di carni. Le temperature di tutti quegli individui differiscono di poco fra loro: la minore è risultata di 35°,8 C., ed appartiene a due Ottentotti del Capo di Buona Speranza; mentre la maggiore è stata di 38°,9 propria di due fanciulli abitanti in Europa e nati a Colombo, l'uno di 8 e l'altro di 12 anni. Despretz ha osservato la temperatura di tre fanciulli europei maschi dell'età di 1 a 2 giorni e l'ha trovata di 35° C., essendo l'aria a 15°,1, quella di quattro giovanotti di 18 anni di 37°,0, di quattro uomini di 30 anni 37°,1 e di quattro di 68 anni pure di 37°1. Davy poi ha osservato il calore dell'uomo allo stato di vecchiaia (1), sopra 8 individui di diverso sesso il più vecchio dei quali era dell'età di 95 anni e il più giovane di 76. Quello dotato di minor calore aveva 88 anni, e sul finire di febbraio circa tre ore dopo il desinare fece salire il termometro a 35°,7, mentre nel precedente giugno aveva mostrato la temperatura di 37°,5. L'uomo di 95 anni manifestò la temperatura di 36°,9.

La temperatura del corpo umano vivente si ottiene ponendo un termometro a piccolo bulbo sotto la lingua e chiudendo la bocca: si osserva poscia l'indicazione dello strumento quando la colonna liquida è diventata stazionaria. I diversi organi e le diverse parti interne dell'uomo sembra che abbiano l'eguale temperatura ottenuta nel modo indicato, e si valuta in termine medio di 36°,6 C. Le orine però d'un individuo mostrano un calore un poco più elevato di quello esplorato sotto la lingua. Infatti lo stesso Davy, osservando il calore d'un uomo allo stato normale, mentre lo trovò sotto alla lingua di 36°,1, nell'orina segnò 38°,3 nel giorno 5 marzo; sul finire di luglio, la temperatura dell'orina essendo la medesima, il termometro indicò sotto la lingua 37°,5. Lo stato di salute e di malattia, come pure il clima, l'età, la stagione e il calore dell'ambiente non producono che piccoli cangiamenti. Nel moto si scorge talvolta un aumento tenuissimo di calore nell'uomo, come osservò Davy, ma in generale il maggiore sviluppo è dissipato per mezzo della traspirazione cutanea.

1203. S'istituirono osservazoni sul calore degli altri animali, le più numerose delle quali sono quelle del su citato Davy. Da esse si ap-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVIII, pag. 152.

prende in generale che gli uccelli mostrano il maggior calore; i mammiferi occupano il secondo posto e la loro temperatura non differisce molto da quella dell'uomo. Vengono poscia gli anfibi, i pesci, gl'insetti, i molluschi ed i crostacei, i quali, secondo le osservazioni di Davy, si discostano di poco dalla temperatura dell'ambiente, dove vivono. Il tordo comune ha la temperatura di 42°,8, il passero 42°,1, il piccione comune 43°,0, la gallina 42°,5, il gallo 43°,9, l'anitra domestica 43°,9 e l'oca comune 41°,7,

Gli animali hanno un calore più o meno grande del mezzo in cui vivono, se si eccettuino due insetti ed un anfibio di quelli osservati da Davy. Quest'eccezione, come pure il poco eccesso di temperatura riscontrata dall'autore in altri animali, è dovuta al metodo usato da lui, che può condurre ad errori rilevanti principalmente quando si tratta di piccioli individui. Davy prendeva la temperatura dei pesci, degli insetti e di altri animali introducendo nei loro corpi, per mezzo d'incisioni, il piccolo bulbo del termometro; in tal modo egli non otteneva la temperatura dell'individuo al suo stato naturale, ma bensì allo stato di violenza e di dolore. D'altronde i risultati in tal modo conseguiti non erano comparabili, anzi sempre inferiori alle temperature reali: imperocchè accadeva una dispersione più o meno grande di calorico in causa del contatto del termometro, la cui massa in molti casi è considerabile in confronto dell'animale; e in causa del freddo variabile prodotto dall'evaporazione degli umori che trapelano dalle ferite. Nobili e Melloni hanno perciò abbandonato il termometro, e si sono serviti del termoscopio elettrico (1), col quale hanno rinvenuto che anche gl'insetti sono sempre dotati di temperatura poco o tanto superiore a quella del mezzo in cui vivono. I due fisici italiani hanno diretto le loro indagini sopra più di quaranta specie d'insetti indigeni appartenenti a diversi generi ed a diverse specie ed eziandio nei differenti stati delle loro metamorfosi, e riscontrarono sempre in quegli animaletti una temperatura superiore a quella del mezzo ambiente. Nell'ordine dei lepidotteri essi stabiliscono la seguente legge: *il bruco dell'insetto è sempre fornito di maggior calore che allo stato di farfalla e di crisalide.* Il sistema respiratorio degli insetti allo stato di bruco è molto più sviluppato che allo stato di crisalide e di farfalla; talchè l'insetto nel primo periodo della vita, nutrendosi più abbondantemente ed

(1) Si vegga il loro lavoro nelle *Memorie ed osservazioni* di Nobili succitate, t. I. pag. 195.

avendo un accrescimento rapido, trasforma in acido carbonico una maggiore quantità d'ossigeno che nei successivi periodi. Siccome tutte le osservazioni finora fatte su le diverse classi e specie d'animali provano un calore proprio a ciascuno di essi superiore al grado del mezzo ambiente; così siamo autorizzati a ritenere che in tutti gli animali viventi vi abbia una lenta combustione, ossia che essi adempiano mediante i loro organi respiratorii all'operazione con cui il carbonio si combina all'ossigeno dell'aria, e ciò a somiglianza di quanto succede nell'uomo e negli altri animali così detti a sangue caldo.

1204. Si comprende dunque come gli animali, in virtù d'una specie di combustione che in loro si opera, possano conservare il proprio calore anche in climi ed in ambienti molto freddi. Ma come mai avviene che ritengono costante la temperatura anche quando vivono in climi e si trovano in ambienti riscaldati al disopra del grado del loro calore naturale? Noi comprendiamo bensì come i compagni del capitano Parry, nel viaggio al Polo Nord, abbiano resistito esponendosi bene spesso ad un freddo di — 48° a — 50° senza restare assiderati, e senza che la temperatura interna del loro corpo subisse variazione notabile. Non riuscirà però abbastanza chiaro come al Capo di Buona Speranza, alla Carolina del Sud e in parecchie regioni meridionali, dove il termometro all'ombra segna in alcuni giorni dell'anno 43 e più gradi sopra lo zero, possa l'uomo conservare la sua temperatura naturale, che è di 6 in 7 gradi minore, abbassandosi il mercurio nel tubo quando pone il bulbo sotto la lingua. Nella traspirazione cutanea più o meno abbondante e nell'evaporazione continua alla superficie dei corpi risiede, come si è veduto da molti fatti, un mezzo potente di raffreddamento, pel quale si compensa il maggior calore, che acquisterebbe l'animale esposto ad una temperatura molto superiore alla propria.

Gli animali hanno per ciò una temperatura fissa, la quale può mai elevarsi nè abbassarsi di alcuni gradi senza gravi inconvenienti ed anche senza che ne conseguiti la morte. Qualunque sia il clima, la stagione, l'ambiente abitato dall'uomo, la temperatura del suo corpo si mantiene a 36 in 37 gradi centesimali. Sotto la zona torrida, dove l'aria si riscalda ben anche sino a 50°, gli uomini vivono in quell'atmosfera bruciante senza partecipare al suo calore. L'attività della traspirazione cutanea e l'evaporazione che ne conseguita è incessantemente proporzionale all'energia del calore di quelle regioni ardenti. Insomma tutte le cause contrarie si bilanciano con tanta armonia e

regolarità, che il sangue del Negro vicino all'equatore rimane a 36 in 37 gradi come quello del Lapponese in prossimità del Polo.

1205. Alcuni hanno intraprese delle osservazioni apposite esponendosi in ambienti artificialmente riscaldati per determinare il calore cui può resistere l'uomo senza deterioramento dell'economia animale. Nel trascorso secolo Fordyce, Solander ed altri si sottoposero al calore di 92° C e sino di 128° C (262 Fahr.). Moscati in Italia si cimentò per parecchi minuti ad un calore superiore a quello dell'acqua bollente; lo stesso fece Tillet in Francia. In questi sperimenti la traspirazione cutanea aumenta notabilmente, e l'evaporazione che ne succede è la causa che impedisce l'alterazione della temperatura dell'individuo. L'uomo può vivere a questi cocenti calori, sinchè l'aria non è satura d'umidità ed egli abbia liquido per trasudare e trasformare in vapore.

Senza ricorrere ad apposite prove, si è osservato che dei ragazzi, abituati in alcuni luoghi a riscaldare i forni dei fabbricatori di pane, potevano resistere per 10 minuti alla temperatura di 114°C. Mirabile è a questo riguardo il calore, che provano gli operai destinati alla fusione del vetro, di cui si ha una relazione circostanziata (1). Un termometro posto più che fosse possibile lontano dalla fornace, ma però nello spazio occupato dai fonditori e liberamente sospeso ad una verga fissata ad un pilone, indicò una temperatura, che variava da 158° ai 163° C (316° a 325° Fahr.). La distanza del termometro dalla fornace era di metri 6,20 (piedi 20,5). I fonditori hanno dei luoghi meno cocenti, dove si ritirano sovente durante il lavoro, ma essi sopportano per un certo tempo quella temperatura senza verun inconveniente. Le loro vestimenta fatte di pannolini, coll'andare dei giorni abbruciano senza che la loro cute nuda sembrasse intaccata dall'azione del fuoco. Inviluppato il bulbo del termometro con un pannolino che si manteneva inumidito d'acqua, esso discese a 56° C (133° Fahr.). L'aria in quei luoghi deve necessariamente essere rarefatta in confronto di quella posta nei luoghi circostanti, epperciò generarsi quelle correnti d'aria, che facilitano l'evaporazione. Queste correnti non potevano essere così abbondanti negli ambienti, dove si cimentarono Moscati e gli altri nominati; per cui essi non avrebbero potuto sostenere il cocente calore dei fonditori delle vetraie.

1206. Da ciò si comprende come, nei primi anni del presente secolo, un certo Lionetto e qualche altro abbiano potuto dare l'esperi-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. v, pag. 266.

mento, in parecchie città d'Europa, d'entrare in forni riscaldati alla temperatura, cui cuocevano alcune vivande e di rimanervi incolumi per qualche tempo. Il prof. Sementini studiò le circostanze e pubblicò su tale soggetto una memoria, che venne tradotta anche in altre lingue (1). Ma l'uomo che può reggere all'aria così cocente, non è capace di tenere immersa la mano in un liquido riscaldato soltanto a 60° C senza essere scottato. Vi sono però alcuni, che hanno immerso per qualche momento le dita nel piombo fuso, senza verun funesto accidente. Ciò avviene per altro principio, quello dello stato sferoidale, di cui si è parlato (§. 1133). Il liquido che trasuda dalla cute passa allo stato sferoidale alla temperatura del piombo, e il calorico del metallo liquefatto non giunge a produrre momentaneamente sul dito la sua azione. Di questo fenomeno infatti si è impadronito la scienza, riducendolo ai principii delle gocce liquide sulle lamine arroventate (2). Lo stesso si dica del passeggiare a piedi nudi sopra ferro di miniera in fusione (3). Ed è per la stessa ragione che una massa liquida di vetro, versata dentro l'acqua contenuta in un secchio, rimane tranquilla senza comunicare il calore all'acqua, come se avesse la temperatura ordinaria (4).

1207. Il calore si applica e si concentra in diverse maniere secondo la sorgente da cui deriva e secondo l'effetto che si vuol produrre. Il fuoco dei combustibili ordinarii, tanto al loro stato naturale quanto preparati in carbone, si applica generalmente col *fornello*, il quale può essere *semplice*, *a riverbero*, *con muffola*, *a corrente d'aria* e *docimastico*. Ogni fornello consta di tre parti principali, cioè del *ceneratoio*, del *focolare* e del *laboratorio*, che è lo spazio destinato a ricevere il vaso o la materia da essere riscaldata. Nel focolare si dispone il combustibile da cui si sviluppa il calorico. Esso è separato dal sottoposto ceneratoio per mezzo d'una grata di ferro, la quale, mentre lascia cadere la cenere e ne sbarazza il combustibile, dà libero accesso all'aria per sostenere attivo il fuoco. Le pareti del fornello sono intonacate di materie coibenti dirette ad impedire la dispersione del calorico. Il fornello a riverbero si copre superiormente

(1) Si può consultare la *Nuova scelta d'opuscoli interessanti*. Milano 1807, t. II, pag. 239; come pure il *Giornale della Società d'incoraggiamento*. Milano 1808, fascicolo 2°.

(2) Si veggano *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. IV, pag. 272.

(3) Gli stessi *Annali*, stessa serie, t. II, pag. 133.

(4) *Giornale di fisica* ecc. di Brugnatelli. Pavia 1816, pag. 225.

con una cupola conica di ferro, che rifletta sul corpo il calorico irradiato superiormente, il quale altrimenti andrebbe perduto. La muffola è un piano formato della terra la più refrattaria per sostenere il corpo in mezzo al centro d'azione del calore. In alcuni la combustione è avvivata potentemente da una corrente d'aria diretta sulle materie che abbruciano, in una maniera consimile a quella del fabbro-ferraio per rendere più attiva la combustione dei carboni sulla fucina. Il fornello docimastico è una disposizione particolare pel saggio delle miniere onde riconoscere la qualità e il pregio del metallo, ch'esse contengono.

Il calore più intenso col mezzo dei combustibili si ottiene abbruciando l'idrogeno in mezzo ad un'atmosfera di puro ossigeno. In queste combustioni si è giunto a liquefare dei corpi, che per l'addietro erano stati dichiarati infusibili. Alle volte l'idrogeno si abbrucia misto all'ossigeno nella giusta proporzione da formare l'acqua, per non lasciare inattiva veruna porzione dei due gas, e ciò con apparati appositi (§. 667). La fusione di parecchi corpi nelle arti più comuni è prodotta dal calore della combustione di materie liquide resa più attiva da una corrente d'aria promossa mediante il *cannello avvivatore* che è un tubo con cui si dirige il soffio del polmone sulla fiamma. Nella *lampada degli smaltatori* la corrente d'aria è promossa con un artifizio apposito (§. 678).

1208. Il calorico dei raggi solari si concentra cogli specchi e colle lenti ustorie nello stesso modo che si concentra la luce (§§. 762 e 795). Negli specchi parabolici tutti i raggi paralleli all'asse si riuniscono nel fuoco (§. 767); mentre in quelli sferici la concentrazione succede soltanto per quei raggi, che non si allontanano di molto dall'asse ossia che comprendono un arco al più di 10°. D'altronde l'intensità calorifica nel fuoco dello specchio si accresce col numero dei raggi in esso riuniti. Per ciò gli specchi ustorii parabolici sono migliori di quelli sferici. Parimenti le lenti polizonali servono meglio di quelle convesse sferiche per concentrare in piccolo spazio il calorico irradiante (§. 803). Le lenti di vetro non riescono vantaggiose che per la concentrazione del calorico solare; giacchè il vetro, come mezzo termocroico, arresta i raggi calorifici oscuri (§. 1072), che sono copiosi nelle sorgenti luminose artificiali (§. 1097).

Si sono formati degli specchi ustorii di grande ampiezza, i quali raccogliendo nel loro fuoco un gran numero di raggi solari, producono degli effetti calorifici notabilissimi. I più grandi specchi ustorii concavi furono costrutti da Villèle di Lione, l'uno dei quali aveva

metri 1,30 di diametro e metri 0,96 di distanza focale. I raggi solari concentrati con questo specchio fusero un pezzo da 25 centesimi in poco più di 7″, un pezzo da 5 centesimi in 16″, un pezzo di ferro minerale in 16″, d'ardesia in 3″, e di sottile tegola in 4″. Effetti somiglianti si hanno colle lenti ustorie e principalmente con quelle polizonali, che hanno perfino il diametro di metri 1,52, come è quella costrutta in Inghilterra per Calcutta; e che producono degli effetti di molto superiori alle grandi lenti sferiche di Tschirnhausen, qualcheduna delle quali aveva metri 0,89 di diametro e metri 3,90 di distanza focale. Con quest'ultima lente si abbrucia il legno anche inumidito in pochi istanti. Il piombo, il ferro ed altri metalli sono stati fusi, e vennero vetrificate parecchie sostanze terree e fusi sott'acqua il solfo, la pece e le resine.

Si legge nelle storie che all'assedio di Siracusa Archimede con uno specchio ustorio appiccò il fuoco ai vascelli del nemico posti ad una notabile distanza. L'apparato del grande geometra non doveva consistere in uno specchio concavo, non potendosi dargli che una distanza focale determinata, ove si concentrano i raggi ed ove deve essere collocato il corpo da essere abbruciato. Si riteneva quindi da alcuni come inesatto quel punto di storia, quando Kirker e poscia Buffon costrussero degli specchi, con cui si abbruciano dei corpi a distanze più o meno grandi, ed acquistarono quindi un carattere di verità i racconti intorno agli specchi di Archimede. Lo specchio di Buffon si componeva di 168 specchi piani di vetro amalgamato, ciascuno dei quali delle dimensioni di cent. 16 per 22 ricongiunti fra loro per mezzo di mastiettature in modo da poterli disporre sotto differenti inclinazioni l'uno coll'altro. Si può così variare a piacimento la distanza del punto di concentrazione dei raggi riflessi ed agire a differenti distanze. Con questo specchio si è incendiata una tavola di legno alla distanza di 65 metri, si è fuso lo stagno a quella di 49 e il piombo di 46.

Effetti ancor più energici si producono col calorico sviluppato dall'elettrico, come vedremo nel capitolo seguente. I tre mezzi potentissimi per isviluppare il calorico, cioè la *combustione dell'idrogeno coll'ossigeno*, le *lenti ustorie* e l'*elettrico*, si sono in questi ultimi tempi diretti contemporaneamente sullo stesso corpo. E si è in tal maniera che si fusero e volatilizzarono corpi, che avevano sinora resistito all'azione del fuoco (1). Il calorico non solo vince la coe-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. II, pag. 265.

sione e fa subire ai corpi un cambiamento di stato, ma esercita su di essi un'azione chimica diretta anche quando è oscuro, come sembra dimostrato da alcune mie sperienze (1).

1209. Mentre il ferro, il platino, le terre, il carbone ed altre materie richieggono gl'intensissimi calori procurati coi mezzi indicati, vi sono alcuni corpi che anche a lieve calore passano quasi istantaneamente dallo stato solido all'aeriforme. Questo passaggio subitaneo non solo dipende dalla poca capacità pel calorico, ma molto più dall'essere quei corpi composti di elementi che hanno una grande tendenza a trasformarsi in gas, il quale è lo stato ordinario cui si presentano in natura. In tale trasformazione del corpo, dallo stato concreto all'aeriforme labile o permanente, il volume si accresce ad un tratto notabilmente, e respinge tutt'all'ingiro l'aria circostante producendo quell'orribile onda sonora che scuote l'organo dell'udito e produce la detonazione. Tali sono la *polvere da cannone* o *polvere pirica*, e parecchie *polveri tonanti*. Alcune di queste passano per un istante in liquido e poscia si gazificano con grande strepito. Nella scuola s'istituisce l'esperienza con quella composta di parti 3 di nitro ben secco, parte 1 di solfo puro e parti 2 di sottocarbonato di potassa, che si espone al fuoco dei carboni ardenti in un cucchiaio di ferro. L'*argento fulminante* è fra le misture che richieggono meno calore per detonare, bastando quello sviluppato dallo sfregamento o dalla percossa. Lo stesso è del *mercurio fulminante*, dell'*oro fulminante* e d'altri simili composti, di cui d'ordinario uno degli elementi è il gas ammoniaco. La lega di potassio e d'antimonio, che si prepara calcinando il tartrato di potassio e d'antimonio, detona in modo somigliante.

Nei miscugli tonanti allo stato di gas, il calorico dilata in principio il composto, il quale poscia, passando allo stato liquido, lascia un vuoto e produce nell'aria un'onda affluente o diretta in verso contrario della precedente. Tale è l'effetto del miscuglio composto d'idrogeno e d'ossigeno dal quale si genera l'acqua, come pure del cloro coll'idrogeno da cui nasce l'acido cloridrico.

Nella pirotecnia o nell'arte di fare i fuochi d'artifizio si fanno misture che in virtù della loro coibenza abbruciano per istrati, producendo fuochi e fiamme di differente colore, miste talvolta a detonazioni per rendere più variato lo spettacolo. Le materie da impiegarsi nei fuochi d'artifizio e le proporzioni di cui si formano le diverse misture

(1) Gli stessi *Annali*, prima serie, t. III, pag 251.

F.a 1
F.a 2
F.a 3
F.a 4.
F.a 5.
F.a 6.
F.a 7.
F.a 8.
F.a 9.
F.a 10.
F.a 11.
F.a 12.
F.a 13
F.a 14
F.a 15.
F.a 16
F.a 17
F.a 18
F.a 19.

Fa 20
Fa 21
Fa 22
Fa 23
Fa 24
Fa 25
Fa 26
Fa 27.
Fa 28
Fa 29
Fa 30.
Fa 31
Fa 32
Fa 33
Fa 34
Fa 35
Fa 36
Fa 37
Fa 38
Fa 39
Fa 40

Fa 41
Fa 42
Fa 43
Fa 44
Fa 45
Fa 46
Fa 47
Fa 48
Fa 49
Fa 50
Fa 51
Fa 52
Fa 53
Fa 54

F.a 55.
F.a 58.
F.a 56
F.a 57
F.a 59.
F.a 60.
F.a 62
F.a 63.
F.a 61.
F.a 68
F.a 71
F.a 64
F.a 66.
F.a 67
F.a 65.
F.a 69
F.a 72
F.a 70

F.a 73.

F.a 74.

F.a 75.

F.a 76

F.a 77.

F.a 78.

F.a 79

F.a 80

F.a 81

F.a 82.

F.a 83.

F.a 84

F.a 85.

F.a 86.

F.a 87.
rosso
aranciato
giallo
verde
azzurro
indaco
violaceo
F.a 88.
F.a 89.
F.a 93.
F.a 90.
F.a 94.
F.a 92
F.a 27
F.a 95
F.a 91
F.a 96
F.a 98.

F.a 151
F.a 152
F.a 153
155
F.a 156
F.a 157
F.a 160
F.a 164
F.a 162
F.a 154.
F.a 159
F.a 161.
F.a 163
F.a 158.
F.a 165
F.a 167
F.a 169
F.a 168.
F.a 166
distanza focale m in centimetri
pei presbiti
pei miopi

Fa 170

Fa 171

Fa 172

Fa 176

Fa 175

Fa 177

Fa 173

Fa 174

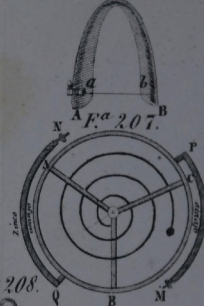
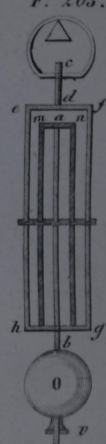
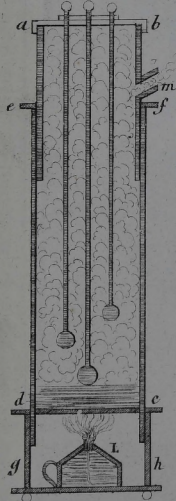
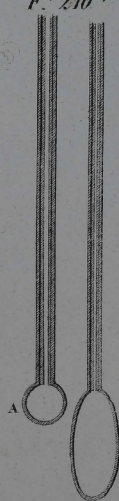
Fa 178

Fa 179

Fa 181

Fa 180

Fa 182.
Fa 183.
Fa 184.
Fa 185.
Fa 186.
Fa 187.
Fa 188.
Fa 189.
Fa 190.
Fa 191
Fa 192.
Fa 193
Fa 194.
Fa 195.
Fa 196
Fa 197.
Fa 198.
Fa 199

Fa 200.
Fa 201
Fa 202.
Fa 203.
Fa 204
Fa 205.
Fa 207.
Zinco
acciajo
Fa 208.
Fa 215.
Fa 210
Fa 213.
Fa 216.
Fa 214
Fa 211.
Fa 212
Fa 206.
acciajo
zinco
Fa 209.

Fa 217.
Fa 218.
Fa 219
Fa 222.
Fa 221.
Fa 224.
Fa 227
Fa 228.
Fa 226.
Fa 220.
Fa 232.
Fa 223.
Fa 225.
Fa 230.
Fa 229.
Fa 234.
Fa 233.
Fa 231
Fredd.
Fred.
Gelo
Caldo
Temper
al massimo
al minimo

F.a 235
F.a 236
F.a 237
F.a 238
F.a 239.
F.a 240
F.a 241
F.a 242
F.a 243
F.a 244
F.a 245
F.a 246